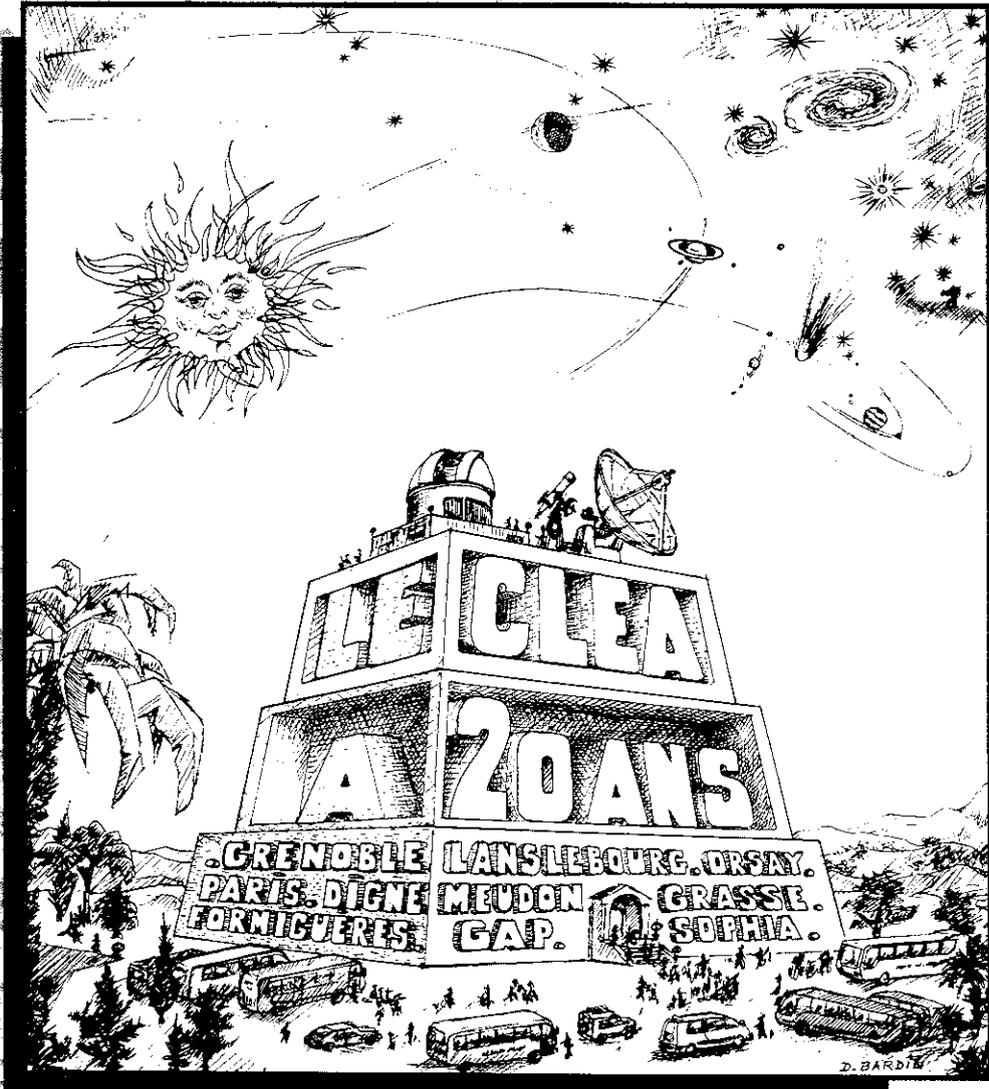


bulletin du comité de liaison enseignants et astronomes

Les Cahiers Clairaut

Lectures
pour la marquise

His
Ré
d'o
Ar
for
Belle
déb
Info
élèves
Vic
Tex
exerc



Articles de fond
Les potins de la Voie lactée

numéro 82 - ÉTÉ 1998

Comité de liaison enseignants et astronomes

Le CLEA

Le CLEA, Comité de Liaison Enseignants et Astronomes, est une association déclarée (loi de 1901). Elle réunit des enseignants et des astronomes professionnels qui veulent ensemble promouvoir l'enseignement de l'astronomie à tous les niveaux de l'enseignement et dans les organismes de culture populaire. En particulier, ils agissent dans le cadre

de la formation initiale et continue des enseignants.

Le CLEA organise des stages nationaux (universités d'été) et régionaux dans le cadre des MAFPEN. Ces stages sont ouverts aux enseignants de l'école primaire, du collège et du lycée. On s'efforce d'y conjuguer information théorique et travaux pratiques (observations,

travaux sur documents, mise au point de matériels didactiques et recherche du meilleur usage de ces matériels, etc).

Aussi bien au cours de ces stages que dans ses diverses publications, le CLEA favorise les échanges directs entre enseignants et astronomes hors de toute contrainte hiérarchique.



PUBLICATIONS DU CLEA p.C et p.D

Bureau du CLEA pour 1998

Présidents d'honneur

Jean-Claude PECKER
Evry SCHATZMAN

Présidente

Lucienne GOUGUENHEIM

Vice-Présidents

Agnès ACKER
Marie-France DUVAL
Jean RIPERT
Josée SERT
Gilbert WALUSINSKI

Secrétaire

Martine BOBIN

Trésorière-Secrétaire

Catherine VIGNON

Daniel Bardin
Francis Berthomieu
Martine Bobin
Michel Bobin
Lucette Bottinelli
Pierre Causeret
Jacky Dupré
Michèle Gerbaldi
Lucienne Gouguenheim
Christian Larcher
Georges Paturel
Jean Ripert
Jean-Paul Rosenstiehl
Daniel Toussaint
Michel Toulmonde
Gilbert Walusinski

Comité de rédaction des Cahiers Clairaut

Conception et réalisation de la mise en page : Sophie Durand

Pour chaque référence, le premier terme du couple d'entiers est le numéro du Cahier, le second la page.

Index alphabétique des auteurs

BERTHOMIEU Francis :
Aventure en ligne (78,23)
BESSON Frédéric :
Etude des rétrogradations à l'aide d'un graphateur (77,30)
BOBIN Martine : Vitesse et dérivée en Première S (79,22)
BOBIN Martine et Michel :
Organisation des Cahiers (78,3)
BOTTINELLI Lucette : L'Univers primitif observé par le télescope spatial Hubble (78,40)
Les sources transitoires du rayonnement γ se dévoilent enfin (79,40)
BRAHIC André :
Un entretien avec A.B. (80,9)
CARMAGNOLE Maurice :
A l'aube de 1998 (80,22)
Mots fléchés sans flèches (80,71)
CAUSERET Pierre : Pourquoi fait-il plus chaud en été qu'en hiver (77,4)
DUPRE Jacques :
Les comètes en 1997 (78,19)
DURAND Sophie :
De la nouvelle maquette... (80,78)
FIERRO Julietta :
L'astronomie dans la rue (79,2)
FRIZET Gérard : Mathématiques et astronomie (80,23)
GOUGUENHEIM Lucienne :
Enseigner les sciences pour rendre libre (77,37)
Un nouvel élan pour le CLEA (78,2)
Hubert GIE, notre ami (79,36)
Un long compagnonnage (80,66)
GARSAULT Claire :
Histoire d'une découverte (79,10)
LACOUR Bernard : En attendant les prochaines oppositions de Mars (79,7)
LERICH Pierre :
Perspective lunaire (80, 42)
MAROTTE Francisque : Les plus anciennes mesures de la Terre (79,17)
MIZAR K. : Faut-il enseigner l'histoire des sciences ? (78, 11)
PASKOFF Marie-Claude : Un rendez-vous à ne pas manquer... Hale-Bopp (77,10)

Une expérience concluante en Première L3 (79,14)
PECKER Jean-Claude :
La classe au Soleil (80,14)
PERBOST Paul : Le cadran solaire de Freeman (77,13)(78,31)(79,23)
RIPERT Jean : De la boule de polystyrène au CD-ROM (80,29)
ROSENSTIEHL Jean-Paul :
Diapositives D8 : Comètes (78,16)
Mettez votre planétaire à l'heure (80,44)
Fiction et réalité, Vénus en 1998 (80,58)
ROS Maria : Un simulateur de cadran solaire (80,46)
SCHATZMAN Evry : Retour sur la structure interne des étoiles (80,3)
SERT Josée :
Astronomy on line (77,34)
Où en est l'EAAE ? (77,36)
SUAGHER Françoise : La mesure du temps IV (77,24)
SZOSTAK Roland : Le vide est-il vraiment vide ? (77,2) (78,4)
TOULMONDE Michel : Pub télé et enseignement (77,9)
Les prochaines éclipses de Soleil en France (80,34)
TOUSSAINT Daniel : Un parcours diversifié en classe de Cinquième (78,27)
VIALLE Jacques :
Billard cosmique (77,27)
WALUSINSKI Gilbert :
Avant le 2 septembre 1976 (77,29)
Vingt ans de bonnes lectures (80,61)
Le mot (80,80)

Index alphabétique des articles

A L'AUBE de 1998
(Carmagnole ; 80,22)
ASSEMBLEE GENERALE du CLEA de Saint-Etienne (80,72)
ASTRONOMIE dans la rue
(Fierro ; 79,2)
ASTRONOMY on line (Sert ; 77,34)
AVANT le 2 septembre 1976 de Grenoble (G.W. ; 77, 29)

AVENTURE en ligne (Berthomieu ; 78,23)
 BILLARD cosmique (Vialle ; 77,27)
 CADRAN solaire de Freeman
 (Perbost ; 77,13 ; 78,31 ; 79,23)
 CHRONIQUE d'une comète (79,16)
 DE LA BOULE de polystyrène au CD-ROM
 (Ripert ; 80,29)
 DIAPOSITIVES D8 Comètes
 (Rosenstiehl ; 78,16)
 EN ATTENDANT les prochaines oppositions de
 Mars (Lacour ; 79,7)
 ENSEIGNER les sciences pour rendre libre
 (Gouguenheim ; 77,37)
 ETUDE des rétrogradations à l'aide d'un grapheur
 (Besson ; 77,36)
 FAUT-IL enseigner l'histoire des sciences ?
 (Mizar ; 78,11)
 FICTION et réalité - Vénus en 1998
 (Rosenstiehl ; 80,58)
 HISTOIRE d'une découverte (Garsault ; 79,10)
 HUBERT GIE, notre ami (Gouguenheim ; 79,36)
 LA CLASSE au Soleil (Pecker ; 80,14)
 LA MESURE du temps (Suagher ; 77,24)
 LE MOT (G.W. ; 80,80)
 LE VIDE est-il vraiment vide ?
 (Szostak ; 77,2 ; 78,4)
 LES PLUS ANCIENNES MESURES de la Terre
 (Marotte ; 79,17)
 LES PROCHAINES ECLIPSES de Soleil en
 France (Toulmonde ; 80,34)
 LES COMETES en 1997 (Dupré ; 78,19)
 LES SOURCES TRANSITOIRES de rayonnement
 γ (Bottinelli ; 79,40)
 L'UNIVERS PRIMITIF observé par le télescope
 spatial Hubble (Bottinelli ; 78,40)
 MATHEMATIQUES et astronomie
 (Frizet ; 80,23)
 METTEZ VOTRE PLANETAIRE à l'heure
 (Rosenstiehl ; 80,44)
 MOTS FLECHES sans flèches
 (Carmagnole ; 80,71)
 ORGANISATION du CLEA (Bobin ; 78,3)
 ORGANISATION du CLEA (Durand ; 80,78)
 OU EN EST l'EAAE ? (Sert ; 77,36)
 PERSPECTIVE LUNAIRE (Lerich ; 80,42)
 POURQUOI il fait plus chaud en été qu'en hiver
 (Causeret ; 77,4)
 PUB TELE et enseignement (Toulmonde ; 77,9)
 RETOUR sur la structure interne des étoiles
 (Schatzman ; 80,3)
 UN ENTRETIEN avec André Brahic (80,9)
 UN RENDEZ-VOUS à ne pas manquer,
 Hale-Bopp (Paskoff ; 77,10)
 UN COURS diversifié en 5^{ème} (Toussaint ; 77,27)

UNE EXPERIENCE concluante au lycée
 (Paskoff 79,14)
 UN NOUVEL ELAN pour le CLEA
 (Gouguenheim 78,2)
 UN SIMULATEUR de cadran solaire
 (Ros ; 80,46)
 UN LONG COMPAGNONNAGE
 (Gouguenheim ; 80,66)
 VINGT ANS de bonnes lectures
 (Walusinski ; 80,61)
 VITESSE et dérivée en 1^{ère} S (Bobin ; 79,22)

Liste alphabétique des titres des ouvrages recensés

Le titre de l'ouvrage est suivi du nom de son ou ses auteurs et du couple numéro du Cahier et page.

AUX CONTRAIRES (Lévy-Leblond ; 77,22)
 LAZARE CARNOT (Dhombres ; 78,38)
 LES COMETES et les astéroïdes
 (Levasseur-Regourd et La Cotardièrre ; 78,36)
 LES COMETES (Rousselot ; 78,37)
 COSMOPOLITIQUES (Stengers ; 79,31)
 DISCOURS sur le bonheur (Châtelet ; 78,36)
 L'HORREUR économique (Forrester ; 79,35)
 LA PLUS BELLE HISTOIRE DU MONDE
 (Reeves, Rosnay et Coppens ; 79,33)
 LA PLUS BELLE HISTOIRE DE DIEU
 (Bottero, Ouakin et Moingt ; 79,34)
 LES GALAXIES et la structure de l'Univers
 (Proust et Vanderriest ; 75,30)
 LA NATURE de l'espace et du temps (Hawking
 et Penrose ; 79,30)
 LIRE ET ECRIRE l'avenir (Drevillon ; 77,20)
 LISTE des ouvrages analysés
 (Toulmonde ; 80,67)
 LE MONDE, l'homme (Descartes ; 77,19)
 LES METEORITES (Zanda et Rotar ; 78,37)
 LA PIERRE de touche (Lévy-Leblond 77,22)
 LES PLANETES GEANTES (Encrenaz 77,21)
 LES PRINCIPIA de Newton (Blay ; 77,19)
 LA SCIENCE AU PRESENT (78,37)
 LE SOLEIL et ses relations avec la Terre
 (Lang ; 78,36)

EDITORIAL

Nous sommes heureux que notre appel ait été entendu : la rédaction a reçu beaucoup d'articles, tous très intéressants. Nous avons même dû en réserver pour les numéros à venir. Leur diversité nous aide à alimenter de façon équilibrée l'ensemble des rubriques.

Ce numéro estival s'ouvre par une mise au point approfondie sur les échelles de temps au XXI^{ème} siècle. C'est Françoise Suagher qui nous remet les pendules à l'heure.

Un texte de réflexion philosophique, de Pierre-Jean Dessertine, explicite le lien entre l'avènement de la cosmologie et la naissance de la philosophie.

Georges Paturel nous éclaire sur la relation de Tully-Fisher en nous initiant avec son humour habituel à la méthode des galaxies sosies.

Sensations et émotions en Guadeloupe, ensuite, par Anne-Marie Louis. Partant de son expérience au planétarium de Saint-Etienne, Philippe Huyard nous montre comment on peut concilier spectacle et pédagogie. Bernard Lacour nous présente le nouveau logiciel qu'il a fabriqué pour exploiter des relevés de taches solaires avec des élèves de lycée.

Nous réalisons que Bernard Lyot est bien plus que l'inventeur du coronographe grâce au très bel article de son fils Gérard Lyot.

Merci à eux tous ; merci aussi à tous ceux dont les articles alimenteront les prochains numéros ; merci enfin à Gilbert qui nous accompagne de son expérience et reste, bien sûr, un fidèle conseiller de lectures pour "les amis de la Marquise".

La Rédaction

Aidez nous à faire découvrir les CC aux enseignants intéressés par l'astronomie et qui n'ont pas la chance de les connaître. Nous pouvons vous fournir des exemplaires d'anciens numéros.

les Cahiers Clairaut

Été 1998 n°82



Article de fond

Le temps
au XXI^{ème} siècle

p. 2

La leçon de Thalès

p. 7



Travaux pratiques

Les galaxies sosies

p. 12



Reportage

Temps magique
en Guadeloupe

p. 18



Pédagogie

Spectacle et pédagogie

p. 21

Avec nos élèves



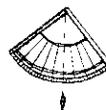
Et pourtant il tourne !

p. 24

Histoire

Bernard Lyot :
Évocation de sa per-
sonne et de son œuvre

p. 29



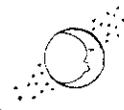
Lectures pour la Marquise

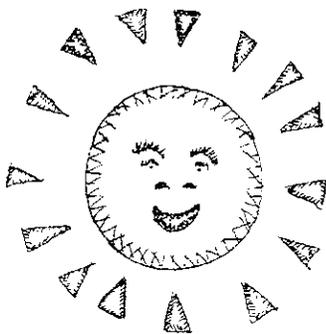
p. 36



Les potins de la Voie lactée

p. 39





Le temps au XXI^{ème} siècle

Françoise Suagher *suite et fin dans le n° 83*

ARTICLE DE FOND

Après avoir écrit un feuilleton sur la mesure du temps pour les CC, il restait un écueil : faire le point sur les échelles de temps du XXI^{ème} siècle et comprendre ce que représentent les notions de temps des Ephémérides, UT₁, de temps universel coordonné U.T.C... Cet article vous permettra de mettre vos pendules à l'heure.

I - Introduction

La "mesure" du temps est un problème complexe, car le vocabulaire que nous employons prête à confusion. Il existe deux sortes de grandeurs, les grandeurs mesurables (comme les masses, les longueurs, les durées) dont on peut définir l'égalité et la somme et les grandeurs repérables, pour lesquelles on ne peut définir qu'une relation d'ordre comme les températures et les dates. Dans le cas du temps, les mots utilisés dans les deux situations, échelle de temps et durée sont les mêmes. J'ai rendez-vous à 8h ... (date) j'ai dormi pendant 8h ... (durée). Les horloges naturelles comme le mouvement des astres, l'accumulation des couches sédimentaires, la croissance des arbres sont des échelles de temps. Les horloges artificielles, pendules, montres ou chronomètres comptabilisent la durée de phénomènes périodiques et indiquent des durées. Si on cherche à comparer deux instants et à savoir s'ils sont simultanés ou si l'un des deux a eu lieu avant l'autre on utilise alors une échelle de temps. Si on cherche

la durée d'un événement de temps on l'obtient par le cumul de phénomènes périodiques, sans se référer nécessairement à une échelle de temps. Si on dispose d'une échelle de temps, la durée s'obtient par différence des dates extrêmes. Encore faut-il qu'on ne travaille pas avec un élastique...

Il est nécessaire de savoir fabriquer une unité de temps, un intervalle de temps universel, reproductible, un étalon : la seconde. Les spécialistes sont confrontés à deux problèmes : savoir fabriquer précisément une seconde, problème d'exactitude, et être capable de la reproduire pour mesurer correctement des intervalles de temps, et obtenir une échelle de temps uniforme et fiable, problème d'uniformité.

Pendant des siècles, on a utilisé le mouvement apparent des astres, dû à la rotation de la Terre comme échelle de temps d'une part et comme moyen de définir la seconde à partir d'une fraction de jour, jusqu'à ce que l'on s'aperçoive que cette horloge naturelle était trop imparfaite.

II - Les Temps Historiques

1 - Temps solaire vrai

Le temps solaire vrai n'est pas un temps uniforme : en particulier, la durée du jour solaire vrai diffère à certaines époques de l'année de plusieurs secondes sur sa valeur moyenne.

La durée du jour solaire vrai est plus longue de 30 secondes en décembre que la durée du jour moyen de 86400 secondes (fig.1). L'écart de durée entre deux jours consécutifs est dû, d'une part à la variation de déclinaison du Soleil d'un jour à l'autre, et également à la variation de la position de la Terre sur son orbite elliptique.

Cumulé sur plusieurs semaines, l'avance ou le retard, connu sous le nom d'équation du temps, peut atteindre 16 minutes (fig.2). Le défaut de régularité du jour solaire est de l'ordre de $30 / 86400$ soit 3×10^{-4} . Ce phénomène n'a pas pu être chiffré tant que les horloges n'avaient pas la précision suffisante.

Dès 1551, les tables pruteniques de Reinhold permettent le calcul de l'équation du temps en utilisant les hypothèses de Copernic. Huyghens se servait de l'équation du temps vers 1650 et John Flamsteed publie en 1672, des tables d'équation du temps.

2 - le temps solaire moyen

Le temps solaire moyen, débarrassé des irrégularités du temps solaire vrai, correspond à un Soleil fictif qui serait animé d'un mouvement uniforme sur l'équateur céleste. Il a commencé à être utilisé par les astronomes à partir de 1650, Picard l'utilise en

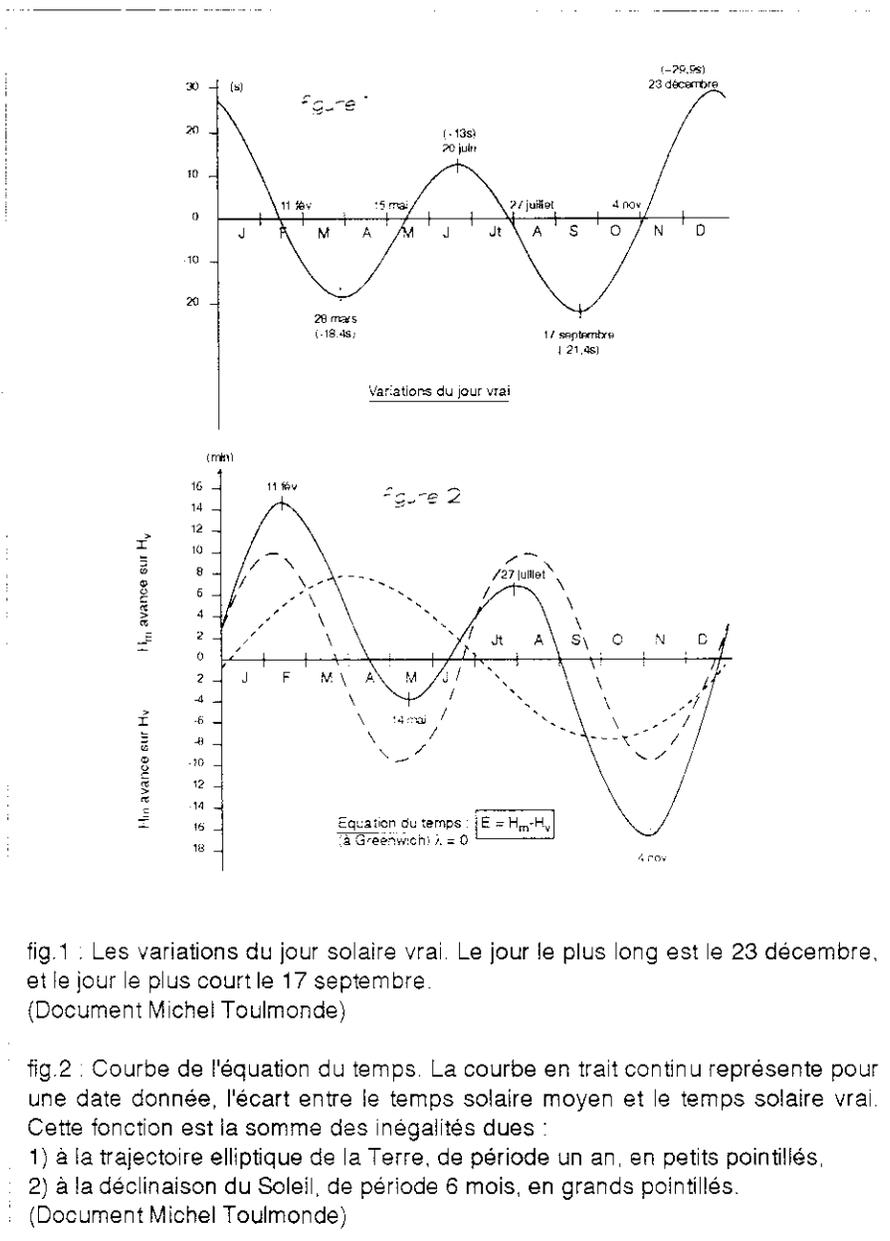


fig.1 : Les variations du jour solaire vrai. Le jour le plus long est le 23 décembre, et le jour le plus court le 17 septembre. (Document Michel Toulmonde)

fig.2 : Courbe de l'équation du temps. La courbe en trait continu représente pour une date donnée, l'écart entre le temps solaire moyen et le temps solaire vrai. Cette fonction est la somme des inégalités dues :
1) à la trajectoire elliptique de la Terre, de période un an, en petits pointillés,
2) à la déclinaison du Soleil, de période 6 mois, en grands pointillés. (Document Michel Toulmonde)

1666, et son emploi se généralise à Paris, sur les horloges publiques, à partir de 1816. Le jour solaire moyen permet de définir un temps étalon : de l'élaboration du Système Métrique (1793) jusqu'au XX^{ème} siècle, l'unité de temps est la seconde de temps moyen définie comme la fraction $1 / 86400$ du jour solaire moyen.

3 - Le temps universel. (abréviation officielle : UT)

Le temps universel est un temps dérivé du temps solaire moyen ; c'est le temps solaire

moyen de Greenwich augmenté de 12 heures. Pour la détermination pratique de UT, on aurait pu observer le passage du Soleil au méridien et apporter des corrections. Mais il n'y a qu'un seul passage au méridien observable par jour, et l'observation du disque solaire est très difficile. On a préféré mesurer le temps sidéral TS qui s'obtient par le passage dans le méridien de certaines étoiles régulièrement réparties sur le ciel (les 1535 étoiles du catalogue FK4). UT et TS sont liés par une relation mathématique simple. La détermination de UT a montré que celui-ci n'était pas uniforme...

III - Les irrégularités du temps universel

1 - Le ralentissement séculaire

UT étant supposé uniforme, on pensait pouvoir écrire tous les phénomènes de mécanique céleste en identifiant la variable t des équations par UT. Pendant longtemps, les éphémérides astronomiques donnaient les positions des astres en fonction de UT, comme par exemple l'éphéméride de la Lune, publiée en 1857 par Hansen. Or, en 1870, Newcomb s'aperçoit que les positions de la Lune diffèrent des positions calculées par Hansen, et d'autant plus que le temps passe. En dépouillant des observations antérieures, il constate aussi un désaccord. S'agit-il d'une imperfection de la théorie du mouvement des corps célestes ou s'agit-il d'un ralentissement de la Terre ?

Remontons l'histoire pour connaître l'avis des astronomes des siècles antérieurs. Copernic a toujours supposé la rotation de la Terre comme uniforme. Au XVI^{ème} siècle, il n'avait d'ailleurs aucun moyen de prouver le contraire, les horloges n'ayant pas la

précision suffisante. Au XVII^{ème} siècle, Kepler et Newton font des allusions au fait que la rotation n'est peut-être pas uniforme. En 1767, Halley disposant des Tables Alphonsines donnant les éphémérides du Soleil et de la Lune, calcule des dates d'éclipses et cherche à vérifier ses calculs par des observations d'éclipses anciennes, mais les résultats ne collent pas... En 1767 Lalande écrit : "Il pourrait y avoir un décalage de 2 à 3 secondes par an, on ne le verrait pas".

Au XIX^{ème} siècle, Newcomb se penche sur le problème et en 1870, il estime le ralentissement de la Terre à 2,3 millisecondes par siècle carré. (C'est une décélération à comparer avec $g = 9,81 \text{ m / s}^2$). Ce phénomène est lié au couplage Terre-Lune. Les marées induisent des frottements, qui provoquent un ralentissement de la Terre et un éloignement de la Lune, de quelques cm par an. Le retard accumulé atteint 45 secondes sur 100 ans, 1h 15 min sur 1000 ans et 5 heures sur 2000 ans. Ce ralentissement est dit séculaire.

On calcule actuellement la durée du jour solaire moyen par la formule :

$$J = 86\,400 + 0,001\,64 T \text{ où } T \text{ est compté en siècle depuis le 1er janvier 1900 à } 0\text{h.}$$

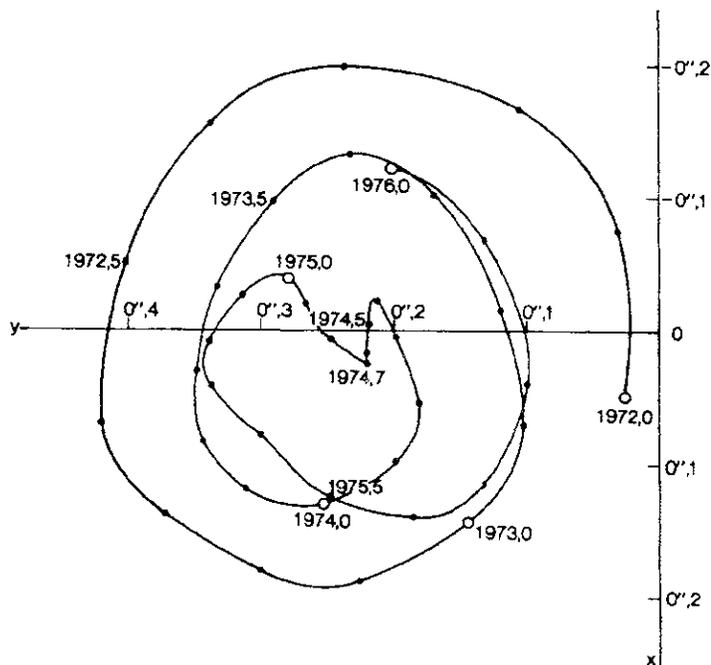
2 - Influence du mouvement du Pôle

Le pôle instantané de rotation de la Terre n'occupe pas une position fixe à la surface du globe. Il décrit une courbe, la polhodie, qui, depuis qu'on sait la tracer, n'est jamais sortie d'un cercle de 30 m de diamètre (fig 3). Le déplacement est infime mais suffisant pour que les valeurs de UT obtenues dans les observatoires astrométriques ne soient pas directement comparables. Depuis 1955 on donne :

$$UT_0, \text{ les valeurs brutes, ainsi que } UT_1 = UT_0 + \Delta \lambda$$

La correction $\Delta \lambda$ relative au mouvement du pôle peut atteindre quelques dizaines de millisecondes. UT_1 est donc le temps universel rapporté à la position instantanée de l'axe de rotation terrestre. Il a une précision de l'ordre de 6×10^{-7} . C'est lui qui doit être utilisé dans tous les cas où l'on a besoin de connaître la position de la Terre dans l'espace.

figure 3



Trajectoire du pôle sur la sphère céleste (d'après l'encyclopédie du Bureau des Longitudes 1977)

3 - Les irrégularités saisonnières

On savait la rotation de la Terre affectée par des variations séculaires, mais en 1937, A et N Stoyko, à l'Observatoire de Paris, remarquent que toutes les horloges (les horloges à quartz existent depuis quelques années) ont tendance à avancer au printemps (environ 0,030 secondes en mai), et à retarder en automne (0,029 secondes en octobre). Ils en viennent à penser que ce ne sont pas les horloges qui sont en cause mais que la Terre présente une irrégularité saisonnière de sa vitesse de rotation. Ceci a été confirmé après 1955 avec l'apparition des horloges atomiques, encore plus régulières que les horloges à quartz. Ces variations saisonnières sont attribuées au déplacement des masses d'air (fig4).

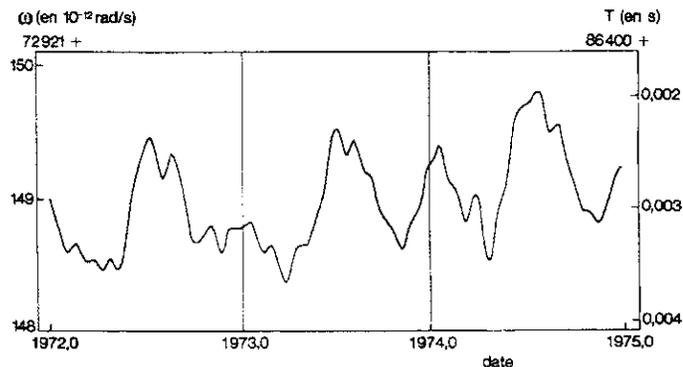
Depuis 1962, on utilise une correction pour avoir une connaissance plus fiable de UT :

$$UT_2 = UT_1 + \Delta T$$

avec ΔT exprimé en secondes

$$\Delta T = 0,022 \sin(2\pi t) - 0,012 \cos(2\pi t) - 0,006 \sin(4\pi t) + 0,007 \cos(4\pi t)$$

figure 4



Variations saisonnières de la vitesse instantanée de la rotation terrestre ω et donc de la durée du jour T (d'après l'Encyclopédie du Bureau des Longitudes).

et t est la fraction écoulée de l'année depuis le 1er janvier (formule confirmée par le Bulletin IERS du 24 juin 1997, Volume X, n°33). Le défaut de régularité de UT_2 est 10^{-7}

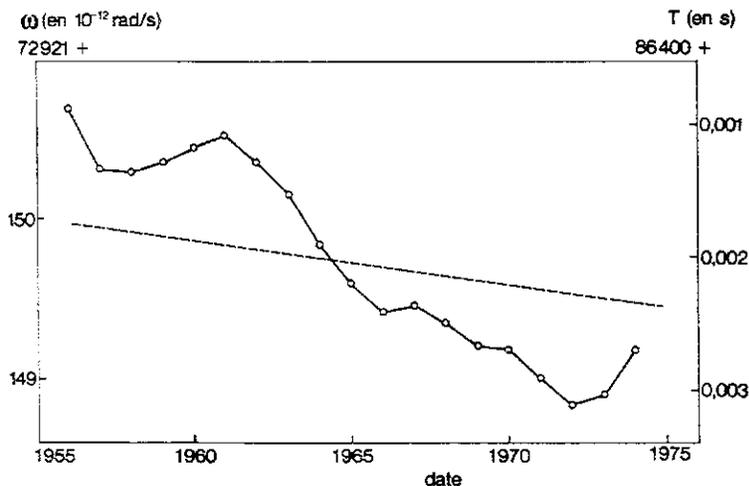
4 - D'autres variations

Par la suite, on a mis en évidence des variations périodiques, d'origine solaire et lunaire et, plus ennuyeux, des variations irrégulières qui n'ont pas de causes bien connues.

On pense à des mouvements du magma et à des phénomènes de couplage entre le noyau et le manteau terrestre qui perturberaient la rotation du manteau. Ces circonstances pourraient modifier le moment d'inertie de la Terre et influencer la durée de rotation.

Les variations irrégulières peuvent augmenter ou diminuer la durée du jour de 0,005 secondes. Il est impossible d'améliorer le UT, son uniformité ne dépasse pas 10^{-7} (fig. 5 ; 6 ; 7, d'après l'Encyclopédie du B.D.L.).

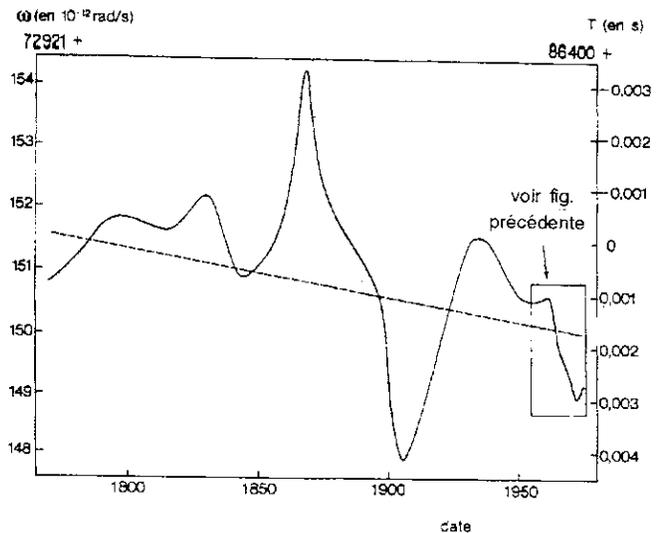
figure 5



Évolution de la vitesse de rotation de la Terre et de la durée du jour sur 20 ans, entre 1955 et 1975. La droite en pointillé correspond au ralentissement séculaire moyen

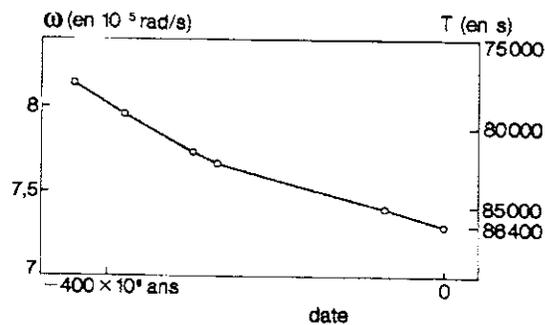
Figure 6

Évolution à long terme de la vitesse de rotation de la Terre et de la durée du jour obtenue par l'étude des mouvements orbitaux des planètes et de la Lune



Une conclusion s'impose : la rotation de la Terre sur elle-même n'est pas uniforme, les corrections que l'on a cherché à introduire pour conserver la rotation de la Terre de manière à définir une échelle de temps ont des composantes aléatoires : le Temps Universel qu'on en déduit ne présente pas la régularité nécessaire à une échelle de temps. Il faut abandonner le mouvement de la Sphère Céleste comme référence pour le repérage précis du temps.

Figure 7



Évolution de la vitesse de rotation de la Terre et de la durée du jour dans les temps géologiques d'après Stoyko.

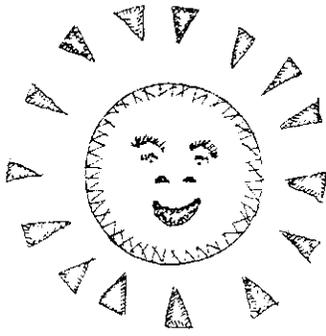
5 - Le bureau International de l'Heure (BIH)

Après 1955, une nouvelle échelle de temps, le temps atomique, est à la disposition de l'astrométrie. Le temps atomique, plus uniforme que le temps universel va permettre d'étudier finalement les irrégularités de UT. Par synthèse des mesures mondiales, on sait que UT_2 , obtenu par des mesures astrométriques présente des erreurs multiples dues à la mauvaise connaissance de la longitude de l'observatoire, à des erreurs systématiques instrumentales ou personnelles, à l'incerti-

tude sur la position des étoiles, à cause de l'inhomogénéité de l'atmosphère qui aboutit à des réfractions mal connues. Aussi il n'est pas rare que les valeurs de UT provenant de différents observatoires soient décalées de plus de 50 milli-secondes. Les mesures, effectuées en de nombreux points du globe, étaient centralisées à Paris, par le BIH qui après avoir effectué des traitements aux valeurs brutes, publiait la valeur officielle de UT sous forme de circulaires mensuelles avec un mois de retard sur les observations.

Ainsi, l'heure était connue à 0,001s près. Le BIH n'existe plus.

Il a été scindé en deux services : l'un rattaché au Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) en 1985, l'autre est devenu le Bureau Central du Service International de Rotation de la Terre (BC / SIRT) qui siège à Paris. Actuellement, le travail de la détermination des temps liés au Temps Universel: UT , UT_1 , UT_2 est confié au BC / SIRT. La détermination se fait toujours à partir de l'observation du passage dans le méridien d'étoiles de références avec des lunettes méridiennes. Cela se faisait à Besançon jusque dans les années 70, cela se fait encore dans de nombreux observatoires dont Bordeaux ! ■



La leçon de Thalès sur le sens des premières cosmologies

Pierre-Jean Dessertine

*"Quel est le but qui vaudrait que l'on choisit de naître plutôt
que de ne pas exister ?
Spéculer sur le ciel et sur l'ordre du cosmos entier."*

Anaxagore¹ (VI^{ème} siècle av. JC)

Ce texte est l'aboutissement, en sa forme théorique, d'un projet pédagogique d'initiation à la philosophie par l'intermédiaire de l'astronomie. Ce projet a permis aux élèves de Terminale Littéraire du lycée Denis Diderot de Marseille de passer une semaine (en septembre 1996) en gîte de montagne dans les Alpes afin d'observer le ciel et de découvrir, par là, les premières cosmologies. Il s'est poursuivi par une visite à l'Observatoire du Plateau de Bure, des visites à l'Observatoire de Marseille, et la production, au lycée, d'une exposition sur "La naissance de la raison".

Tout enseignement se développe dans l'élément du discours rationnel. A l'enseignant, la raison se donne comme son milieu naturel. L'exigence de rendre raison de ce qu'il affirme, de ne pas se contredire, la mise en ordre déductif de ses propositions, tout cela il le fait, au sens propre, sans histoire. Si bien qu'il lui est difficile d'envisager une époque en laquelle la valeur de la raison, son utilisation généralisée, n'allaient pas de soi. Pourtant nous sommes bien obligés de faire droit à la mémoire contenue dans notre culture qu'il fut un temps, le VII^{ème} siècle avant J.C., un lieu, la Grèce ionienne et plus particulièrement la cité de Milet, où la pensée rationnelle est apparue. Nous avons alors tendance à envisager cet événement comme une sorte de miracle. Avec Thalès, considéré à la fois comme le premier mathématicien, le premier cosmologue, et le premier philosophe, le savoir se serait transfiguré,

"la Raison se serait tout à coup incarnée. Descendant du ciel sur la terre elle aurait, pour la première fois, à Milet, fait irruption sur la scène de l'histoire; et sa lumière, désormais révélée, comme si les écailles étaient enfin tombées des yeux d'une humanité aveugle, n'aurait plus cessé d'éclairer les progrès de la connaissance"²

L'apport des historiens contemporains contredit cette vision. La conquête par les hommes du discours rationnel, la généralisation de son usage, s'est faite de façon lente et progressive, à travers de multiples médiations. Nous voulons ici mettre en valeur l'une d'elle : l'investissement par le discours rationnel de cet objet que l'on est bien obligé de penser comme limite de toute expérience possible, qui nous est donné intuitivement à partir de la perception du ciel étoilé, et que les Grecs désignaient par le nom de *cosmos*.

Que signifie pour l'histoire de la pensée l'investissement du savoir du cosmos par le logos ? Plus précisément, n'est-ce pas à ce stade que se joue l'avènement du projet scientifique ? Et si tel est le cas, que peut-on en apprendre sur la nature de la science ?

Des physiologues...

Il n'y a pas distinction entre la cosmologie et la philosophie dans le savoir que l'on attribue aux Milésiens. De fait ces dénominations n'avaient pas encore cours au VI^{ème} siècle av. J.C. ; elles n'ont donc, à leur endroit, de valeur que rétroactive (le premier emploi attesté du mot *philosophos* apparaît chez Héraclite, un siècle après Thalès). Pour ces premiers penseurs, la dénomination exacte est *phusiologos*, celui qui propose un discours rationnel sur la nature entendue comme un tout. Là est en effet leur audace : proposer de rendre compte de la totalité de ce qui a existé, existe et peut exister par le discours rationnel.

Il y a une raison technique universelle...

En soi, la capacité d'explication rationnelle n'était pas une nouveauté. Disons même qu'en un sens, la raison est aussi vieille que l'homme et ne peut en être séparée. En effet, parmi les primates, l'homme s'identifie, pour le paléontologue, par sa culture d'outils. Or l'existence d'outils comme patrimoine collectif transmissible, présuppose la connaissance et la maîtrise symbolique de relations causales. Un silex taillé, cela signifie qu'un individu a choisi la bonne pierre, l'a taillé avec le bon outil suivant la bonne méthode, et a été capable de l'utiliser de manière efficace ; cela implique donc la connaissance de toute une chaîne de relations causales. Mais cela signifie aussi la capacité de concevoir par la pensée, et aussi de transmettre par la

parole, toute la chaîne procédurale ; cela présuppose donc la maîtrise du discours rationnel. Le savoir technique est un savoir rationnel, ou il n'est qu'un savoir de rencontre, sans lendemain, comme celui du chimpanzé du zoo qui sait utiliser un bâton pour rapprocher à portée d'un membre antérieur une banane posée devant la grille de sa cage, mais l'oublie aussitôt la banane obtenue.

Le mythe de Prométhée tel qu'il est transmis par Platon³ touche juste en ce qu'il décrit l'homme comme l'espèce à laquelle les dieux n'ont pas donné des attributs physiques et instinctuels suffisants pour survivre, mais à laquelle, pour suppléer à cette lacune, ils ont donné le savoir technique. Et ce savoir consiste essentiellement dans la capacité de raisonner sur les causes.

Le discours mythique est complémentaire de cette raison technique...

Il est là nécessaire de dépasser les oppositions trop simples, et de reconnaître que, en ce sens technique, le discours rationnel n'est pas du tout antithétique du discours mythique. C'est bien pour *rendre raison* des phénomènes naturels que l'on évoque les tribulations des dieux. Il s'agit là encore d'un investissement technique de la raison : on identifie des rapports fiables entre les événements – c'est la causalité – afin d'en modifier le cours à son avantage. Seulement, il y a des phénomènes dont la cause est hors de portée de l'expérience humaine ; l'homme en invente une alors, imaginaire certes, mais au surplus régressive, c'est-à-dire fondée sur l'expérience infantile de son rapport aux parents : la volonté toute puissante d'un être extraordinaire qu'on peut infléchir par ses prières. "...les hommes observaient le système céleste

et son ordre immuable, et le retour périodique des saisons de l'année, sans pouvoir en reconnaître les causes. Ils n'avaient donc d'autre recours que de tout remettre aux dieux, et de faire tout tourner sur un signe de leur tête"⁴. Le mythe doit alors être compris comme ce qui permet de parfaire, d'achever le discours de la raison technique.

L'objet-univers exclut le discours mythique...

Or, et pourrait-on dire du jour au lendemain, il n'y a plus aucune place pour le discours mythique chez les penseurs de Mileta . Et ceci pour une raison de principe : leur discours a pour objet l'univers. En effet cet objet est, entre tous, unique, car il est à la fois homogène à l'expérience de tout un chacun (on peut le concevoir comme prolongement de ses intuitions sensibles) et il ne laisse aucune réalité en dehors de lui. Dès lors que l'on vise l'objet-univers, on exclut toute autre réalité qui relèverait d'un type d'expérience inconnu de nous, et pour laquelle il faut bien poser l'existence de sujets tout aussi inconnus. Il n'y a donc plus de dieux ; il n'y a plus d'instance transcendante qui explique d'autant mieux qu'elle est inexplicable, mais seulement descriptible au gré de l'imaginaire humain. Le discours mythique est donc disqualifié, ainsi que le domaine du sacré qu'il institue ; l'homme n'a plus à être pieux, à se soumettre à l'autorité des prêtres, mais aussi à attendre leur secours. Il se retrouve seul avec son expérience du monde et sa raison pour lui donner sens.

L'audace étonnante des Milésiens...

Il faut reconnaître que c'est aux Milésiens que nous devons la position du concept d'univers dans toute sa pureté.

Les penseurs grecs qui ont suivi et qui, eux se sont fait appelés philosophes, ont été généralement en retrait de cette pureté^b. Il s'agit là d'une audace étonnante qu'il faut mesurer au risque qu'elle implique. La cohérence d'une vision du monde est une nécessité vitale pour l'homme car elle lui permet de donner sens à sa vie. Et il a besoin de sens pour trouver matière à se projeter dans l'avenir et ainsi continuer à vivre.

Se détourner de tout discours mythique, alors qu'ils étaient les exclusifs pourvoyeurs de sens, c'est se retrouver devant l'abîme. On pense à Descartes ayant douté jusqu'au bout, "comme si tout à coup j'étais tombé dans une eau très profonde, je suis tellement surpris, que je ne puis ni assurer mes pieds dans le fond, ni nager pour me soutenir au-dessus"⁵. On ne sait si les Milésiens ont exprimé une telle inquiétude. Ce qui est certain, c'est qu'ils ne lui ont fait aucune concession, "avec eux, la nature, dans sa positivité, a envahi tout le champ du réel ; rien n'existe, rien ne s'est produit ni ne se produira jamais qui ne trouve dans la *phusis*, telle que nous pouvons l'observer chaque jour, son fondement et sa raison"⁶.

Ils ont posé la raison comme valeur en soi...

Il n'y a pas à expliquer ce radicalisme des premiers penseurs ioniens, il faut le saluer. Ici justement pour la première fois, par sa pensée, l'homme exprime pleinement sa liberté. Mais, pour autant, il y a aussi quelque chose d'important à comprendre : en osant penser ainsi l'univers, ces hommes ont affirmé, pour la première fois, une confiance totale dans la raison. Ce qui ne fut, pendant les millénaires précédents, qu'une attitude d'esprit nécessaire pour identifier des régularités dans la suite des événements afin d'en tirer une capacité d'anticipation

minimum pour survivre, devient objet d'investissement pour soi. La raison est devenue valeur en soi. Comment ce qui n'avait été jusqu'alors qu'une valeur instrumentale a-t-il pu s'élever au firmament de la pensée, comme ce qui donne sens à la vie humaine ?

Le logos comme moyen pour résoudre le problème de la violence...

Cette promotion du *logos* – discours rationnel – n'est compréhensible que référée à la profonde mutation du monde grec entre les VIII^{ème} et VI^{ème} siècles. Au départ, il s'agissait d'une société encore aristocratique et guerrière, c'est-à-dire structurée par la prééminence de familles dont le pouvoir était fondé sur la tradition et sur la possession des instruments de la force (armes et chevaux)^c. Une classe montante, tournée vers les échanges marchands (artisans, commerçants, marins), qui avait donc intérêt à ce que la société s'installe dans la paix, aurait alors imposé d'autres pratiques sociales. Cela s'est concrétisé d'abord par une réforme judiciaire. A la place d'une sentence royale consacrant le résultat d'une épreuve de force réglée par le droit coutumier, le jugement est désormais prononcé par un juge au terme d'un débat contradictoire entre les parties, lequel lui a permis de comparer les arguments afin de mettre à jour la *vérité objective*.

Les décisions judiciaires procèdent donc désormais d'une joute verbale dont les règles sont celles-là même qui régissent l'usage de la raison technique : mettre à jour la cause, ne pas dire une chose et son contraire. Le résultat est le même : mise à jour d'une proposition – la vérité objective – sur laquelle chacun peut être librement d'accord ; *librement*, cela veut dire sans que cet accord dépende d'autre chose que de la

reconnaissance de la valeur intrinsèque du discours. La vertu de cette nouvelle procédure est donc de clore de manière définitive le litige. Le discours rationnel se révèle ainsi capable de réaliser une avancée décisive dans la solution du problème le plus lancinant de la vie sociale, celui de la violence.

L'institution de la démocratie comme consécration de la valeur de la raison...

Dès lors, comment ne pas voir dans l'avènement de la démocratie qui, chronologiquement, semble embrayer directement sur cette transformation judiciaire, l'expression du désir d'étendre à l'ensemble de la vie sociale une procédure – le débat contradictoire – dont on a expérimenté le caractère bénéfique ? Le logos prend ainsi dans la vie sociale une importance qu'il n'avait jamais eu, il devient en fait le principal instrument du pouvoir ; et corollairement l'*agora*, lieu où se déroulent les procès, où se débattent les lois, où se prennent les décisions collectives, devient le centre de la cité.

Il est significatif que Thalès, le premier cosmologue, ait été l'un de ces Sept Sages auxquels la tradition a attribué la fondation des institutions démocratiques dans les cités grecques. On reconnaît en lui le principal porteur du flambeau de la raison qui a permis à la société grecque de sortir d'un état de violence endémique, de se stabiliser et de s'épanouir.

J.P. Vernant a montré⁷ de façon convaincante comment Anaximandre, disciple de Thalès, a produit une théorie cosmologique sur le modèle de la structure de la cité grecque : la terre est au centre de l'univers, à égale distance de tout, comme l'*agora* est au centre de la cité, lieu de référence d'une égalité de droits entre tous les citoyens.

On peut voir dans cette analogie le signe d'un mouvement du logos de la société vers le cosmos. L'usage du logos avait réussi à résoudre les problèmes essentiels de la vie sociale, il a ainsi acquis un prestige tel qu'on l'a jugé capable de dire l'univers.

La raison devenue théorie est contemplation de l'ordre du monde...

"L'eau est le principe de toutes choses", "la terre flotte sur l'eau comme un morceau de bois" ; ces propositions que la tradition retient de Thalès jettent la pensée dans une aventure dont le paysage est entièrement renouvelé. De ces propositions, il n'y a rien à faire. Pour la première fois ce qui est dit sous la forme du logos ne sert à rien ; et surtout pas à prier. Il s'agit de la première *théorie* (du grec *theôrein* = contempler). Platon rapporte l'anecdote : "Il (Thalès) observait les astres et, comme il avait les yeux au ciel, il tomba dans un puits. Une servante de Thrace, fine et spirituelle, le railla, dit-on, en disant qu'il s'évertuait à savoir ce qui se passait dans le ciel, et qu'il ne prenait pas garde à ce qui était devant lui et à ses pieds."⁸ ; on peut se demander ce qu'il pouvait bien voir là-haut qui lui fit négliger son intérêt personnel. Cela est indiqué dans la signification du mot *contempler*. En telle activité l'esprit est en une sorte de jubilation ; il se repaît de ce qui a tant de valeur pour lui qu'il en oublie sa fonction ordinaire et utilitaire qui est de déterminer ce que sont les bons comportements du point de vue des intérêts humains. Une telle attitude, on le sait, peut se produire au contact d'une œuvre d'art. Mais alors que dans ce dernier cas c'est par sa capacité d'imaginer que l'esprit s'élève, dans la théorie, c'est par sa capacité à raisonner. On peut appeler *ordre* la valeur dont l'esprit se nourrit dans la

contemplation théorique.

Contempler signifie alors connaître la relation nécessaire entre les phénomènes, mais aussi l'homogénéité de l'univers régi par une même loi, et donc la nécessité et l'unité du monde^d. Mais cela signifie aussi avoir conscience de l'accord de l'esprit qui connaît avec le connu, et encore du pouvoir de la pensée libre d'accéder, au-delà du chaos des événements, à l'ordre sous-jacent, et même avoir révélation de l'harmonie de soi et du monde dans ce savoir, ...et on n'en finirait pas d'aligner les déterminations car c'est le propre de la contemplation de ne jamais en avoir fini avec son objet ; celui-ci est illimité, et il n'est pas inexact de le penser, à la manière hégélienne, comme une présentation de l'absolu.

L'essence de la science...

Il nous paraît que l'on ne peut comprendre l'ensemble de l'aventure scientifique, et toute la générosité humaine qu'elle a catalysée, si l'on ne la réfère pas à cette attitude inaugurale des Milésiens. L'essentiel de la science est là, dans cette attitude désintéressée de l'esprit raisonnant qui met à jour un ordre, et qui trouve toute sa satisfaction dans la contemplation de cet ordre.

L'ordre ? On a beau déroger à un déterminisme strict, établir des relations aléatoires entre les phénomènes, comme en mécanique quantique, c'est toujours un ordre qu'on révèle. La *théorie* du chaos, ce n'est déjà plus le chaos !

Le désintéressement ? On a beau accuser les scientifiques d'être pris dans le jeu des relations humaines et des pouvoirs sociaux – on ne s'en est pas privé ces dernières décennies –, on ne peut comprendre la découverte scientifique si l'on ne pose pas qu'au moment où le scientifique se concentre sur son objet de recherche, tous les autres intérêts sont disqua-

lifiés ; il a oublié la multinationale qui le finance, le confrère avec lequel il est en rivalité, la publication projetée qui le valorisera, seul vaut le segment de l'ordre du monde qu'il veut mettre à jour.

Par le désintéressement intrinsèquement lié à son objet, rien n'est plus clairement scientifique que la cosmologie ; par sa présence, depuis Thalès, elle est la référence permanente du projet scientifique ; elle est vraiment la reine des sciences.

La science moderne a renoncé à viser la totalité...

Il faut remarquer ici que la multiplicité *des* sciences est incohérente avec le projet scientifique tel que nous l'avons déterminé par son origine. Cela fait désordre. Et c'est effectivement un désordre dû à un facteur extrinsèque lié à la révolution galiléenne. A partir du XVI^{ème} siècle on a conçu le dessein de mettre la théorie au service des intérêts humains. La démarche, en soi, n'est pas illégitime ; elle exprime une nouvelle confiance de l'homme en lui-même par rapport au monde naturel, ce qui peut être compris comme une manifestation de maturité. Cela a permis l'émergence de la méthode expérimentale : on ose, maintenant, mettre la Nature à la *question* ; et le gain en savoir théorique est évident. Mais cela a conduit à l'émiettement de domaines théoriques qui se sont formés au gré des contingences de l'histoire humaine, et, en corollaire, à la spécialisation des hommes de science.

C'est en ce point que l'on peut comprendre la séparation entre la philosophie et la science. Elle ne va pas de soi ; elle n'est en tous cas pas inscrite dans la perspective originaire. Il y a une coïncidence qui paraît significative : la notion de philosophie apparaît à la fin du VI^{ème} siècle, au moment coexistent plusieurs théories

cosmologiques – en particulier celles de Thalès, Anaximandre, Anaximène et Xénophane – incompatibles entre elles. Or le mot philosophos – ami de la sagesse – exprime un renoncement au statut de Sage (celui qui possède le savoir achevé) dont Thalès était encore crédité. Comme si l'ardeur théorique des débuts avait buté sur des problèmes immanents. C'est bien le cas. Il est vite apparu que le discours théorique ne pouvait être, du moins sans arbitraire, achevé.

Comment penser la diversification du monde si l'on pose un principe unique ? (du point de vue de Thalès, pourquoi tout n'est-il pas resté "eau" ?).

Si tout change constamment, quel est le point fixe à partir duquel ce changement peut être pensé ? Si l'univers est fini, qu'y-a-t-il au-delà de sa limite ? Faut-il accepter que le Temps ait un commencement et une fin (points aveugles pour la raison) ? Ou bien peut-on le rationaliser comme Eternel Retour ? Mais alors comment déterminer la durée du cycle ? C'est à l'horizon de ces questions que point le problème de l'homme, de sa place dans le monde, de ce qu'il a à y faire, problème que prendra clairement en charge la lignée socratique.

Ces problèmes que posait l'entreprise scientifique, les penseurs, jusqu'à l'époque moderne, ne les ont jamais occultés. C'est pour cela qu'ils étaient tout autant philosophes qu'hommes de science. Il était en effet de l'essence même de l'ambition théorique promue par les Milésiens de faire porter la mise en ordre rationnelle sur la totalité du réel et d'assumer les problèmes que cela posait. A partir du moment où l'on a circonscrit délibérément un domaine particulier de recherche, et un type de questions à résoudre, on s'est donné les moyens d'établir beaucoup de propositions théori-

ques, exploitables du point de vue technique ; mais en écartant ainsi les questions apparemment insolubles et improductives, on a renoncé à un réquisit essentiel de l'entreprise scientifique qui est la contemplation de la totalité comme unité.

En guise de conclusion...

On peut considérer le développement des sciences modernes soit comme une régression, soit comme une synthèse.

Comme une régression car en déterminant les savoirs théoriques en fonction de leur utilisation technique, il semble bien qu'on ait rétabli le primat de la raison technique comme ce fut le cas pendant bien longtemps, avant la venue des Milésiens. La persistance, voire le regain des croyances religieuses, et même des discours mythiques au sens le plus large, à notre époque, confirmerait cette interprétation.

Comme une synthèse car la raison contemplative, quoiqu'encadrée, annexée même, n'a jamais été éliminée, en sa visée propre, par cette opération. Et ceci a permis, en dépit de retombées néfastes dont tout esprit lucide s'inquiète, des avancées décisives dans la maîtrise par l'homme de ses conditions d'existence.

Quoiqu'il en soit, il importe de remarquer, pour terminer, que la visée rationnelle héritée des Milésiens n'a jamais été abandonnée. La flamme a été entretenue au moins par les cosmologues. Au sortir d'un siècle particulièrement fébrile dans la parcellisation et l'exploitation des sciences, Einstein a réaffirmé de manière exemplaire l'exigence d'une théorie unificatrice. De nos jours, plus que jamais depuis Galilée, les meilleurs scientifiques n'ont de cesse de renouer des fils entre les domaines théoriques séparés afin de faire progresser la raison contemplative. Ils confirment

ainsi Aristote : " Plus notre faculté de contempler se développe, plus se développent nos possibilités de bonheur et cela, non par accident, mais en vertu même de la nature de la contemplation. Celle-ci est précieuse par elle-même, si bien que le bonheur, pourrait-on dire, est une espèce de contemplation"⁹.

Notes

a lorsque les doxographes font dire à Thalès que "tout est plein de dieux", il est clair que cette proposition ne peut induire aucun comportement intéressé de l'individu. D'abord, il y en a trop ! Ensuite, ils n'ont aucune identité déterminée que l'on pourrait assigner à une fonction déterminée. Du point de vue de la maîtrise par l'homme du cours des phénomènes, ils ne servent à rien ; ils sont hors raison technique ; ils n'ont aucune valeur mythique.

b Aristote, par exemple, auquel on reconnaît un effort de positivité, n'a pu éviter de casser le concept d'univers en se donnant, au delà du premier ciel, un premier moteur immobile, substance éternelle et sans dimension, suprême intelligible et suprême désirable ; cet ensemble de déterminations, on le voit, transgresse toute expérience humaine possible.

c Pour tout ceci, je m'appuie sur les textes de J.P. Vernant, en part. : *Les origines de la pensée grecque*, Quadrige, P.U.F.

d Anaximandre (vers - 610 à - 550) en donne une très belle expression rapportée par Simplicius : "Suivant la nécessité, tous les êtres se rendent mutuellement justice et réparent leurs injustices selon l'ordre du temps"

1 cité par ARISTOTE dans *Ethique à Eudème*, I, V 1216 a 11.

2 Jean-Pierre VERNANT, *Mythe et pensée chez les Grecs*, p 404 ; La Découverte - 1996.

3 PLATON, *Protagoras*, 320 d - 321 d.

4 LUCRECE, *De la Nature*, Livre V, trad. Ernout, Gallimard.

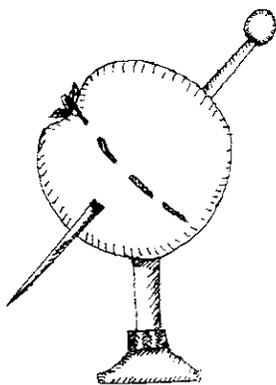
5 Méditation seconde

6 J. P. VERNANT, *Les origines de la philosophie*, in *Philosopher*, Denoël

7 J. P. VERNANT, "Géométrie et astronomie sphérique dans la première cosmologie grecque" - *Mythe et pensée chez les Grecs*, La Découverte - 1996.

8 PLATON, *Théétète*, 174 a - 175 c.

9 ARISTOTE, *Ethique à Nicomaque*, X, 9.



la méthode des galaxies sosies

Georges Paturel *Observatoire de Lyon*

En 1986 nous avons rédigé un article dans le numéro 34 des CC sur la méthode de Tully-Fisher, une méthode puissante pour mesurer la distance des galaxies. Cet article était présenté sous la forme d'un travail pratique. Nous nous proposons de récidiver dans ce genre. Cependant pour rajeunir notre article nous utiliserons les résultats récents qui viennent de « tomber » de l'espace et les outils modernes qui font le régal de tous les jeunes surfeurs d'internet.

Nous rappellerons brièvement ce qu'est la relation de Tully-Fisher et nous présenterons la méthode que nous allons appliquer : la méthode des galaxies sosies¹. Nous donnerons ensuite le moyen d'extraire les données par INTERNET et nous conclurons par le calcul de la constante de Hubble, histoire d'estimer l'âge de notre univers.

Magnitudes et module de distance

Avant de vous parler de la relation de Tully-Fisher je voudrais introduire les notations utilisées par les astronomes. Ces notations nous seront utiles. Faisons donc le petit détour. Les astronomes du temps jadis avaient classé les étoiles en différentes « grandeurs ». Une étoile de première grandeur était une étoile d'éclat très important, une étoile de sixième grandeur était à peine visible. La grandeur d'une étoile était estimée à l'œil (mais aussi gratuitement). Les astronomes du temps présent possèdent de puissants instruments capables de mesurer l'éclat vrai en unités physique sonnantes et trébuchantes (c'est-à-dire en $W.m^{-2}$). Par respect pour les anciens,

ces astronomes modernes ont voulu retrouver la gradation des anciens et ils ont défini les magnitudes apparentes comme :

$$m = -2.5 \log_{10} E + k$$

où k est une constante fixée par convention. Le signe moins sert à traduire le fait que la « grandeur » varie en sens opposé de l'éclat (je ris en pensant au Roi Soleil). Quant au logarithme, il résulte d'une loi d'un physiologiste allemand, K. Fechner qui a énoncé : nos sensations varient comme les logarithmes des excitations. C'est la raison pour laquelle la plupart des sensations sont mesurées en échelle logarithmique : la puissance d'un son en décibels, la puissance d'un tremblement de terre en « force sur l'échelle de Richter », l'acidité en pH etc...

Je me permets de glisser un commentaire personnel : heureusement que nous ne percevons que le logarithme des bruits sinon ce serait assourdissant...

La magnitude apparente ne nous renseigne qu'imparfaitement sur la distance de la source lumineuse (étoile ou galaxie). Certes l'éclat E varie bien comme l'inverse du carré de la distance (une étoile donnée placée deux fois plus loin par une main divine aurait un éclat quatre fois moindre) mais toutes les sources lumineuses n'ont pas la même luminosité intrinsèque. Dans le noir, vous ne pourriez pas dire si une source lumineuse est proche ou non. Vous devez savoir si la source est une lampe de poche ou un projecteur de DCA placé très loin. Pour caractériser la luminosité intrinsèque, les mêmes astronomes ont inventé la magnitude absolue M qui n'est autre que la magnitude apparente qu'aurait la source si elle était placée à une distance donnée de 10 parsecs (1 parsec = 3,26 années-lumière = 3×10^{13} km). Si la magnitude absolue est connue alors la distance nous est donnée par la magnitude apparente.

La relation est simple :

$$m - M = 5 \log_{10} r + 25$$

ou inversement

$$r = 10^{0.2(m - M - 25)} \quad (1)$$

où r est la distance exprimée en millions de parsecs ou mégaparsecs (Mpc). Cette relation est très facile à démontrer à partir de la définition des magnitudes apparentes et absolues et de la loi qui dit que l'éclat varie comme l'inverse du carré de la distance r . Si vous n'y parvenez pas reportez-vous aux CC34.

En conclusion, tout le problème de la détermination des distances astronomiques revient à déterminer M . En effet, m étant mesurable, $m - M$ donne une fonction

de r parfaitement définie. D'ailleurs, pour vous prouver que $m - M$ est bien équivalent à la distance, les astronomes ont appelé $m - M$ le module de distance et ils l'ont noté μ (ça, c'est une preuve !). Oui, mais : comment déterminer M ? Vous l'avez deviné... Grâce à la relation de Tully-Fisher.

La relation de Tully-Fisher TF

Brent Tully n'est pas un astronome du temps jadis. C'est un astronome encore en exercice. Avec son collègue R. Fisher il a trouvé empiriquement une relation très simple entre la magnitude absolue M et une quantité mesurable : la largeur de la raie 21 cm. Nous allons expliquer en deux mots d'où vient cette relation. Pour la petite histoire et pour la vérité historique une forme équivalente de la relation avait été employée avant Tully et Fisher par des astronomes que vous connaissez bien : L. Bottinelli, L. Gouguenheim et J. Heidmann. Et le concept de base avait été compris encore avant par un astronome américain M.S. Roberts. Mais l'histoire des sciences est ainsi faite qu'elle attache souvent à un ensemble de travaux les noms de ceux qui les ont épurés pour en tirer une forme simple.

Les galaxies spirales tournent sur elles-mêmes. Si elles étaient vues par la tranche, un côté s'éloignerait de nous tandis que l'autre côté s'en rapprocherait. Une émission monochromatique apparaîtra plus large que si la galaxie n'avait pas de rotation, effet Doppler-Fizeau oblige. Pour une galaxie vue sous un angle quelconque, il faudra faire une correction d'inclinaison

moyennant quoi la largeur de cette émission nous renseignera sur la vitesse de rotation. Or l'hydrogène neutre localisé dans le disque des galaxies émet justement une radiation monochromatique sur une longueur d'onde de 21 cm observable en radioastronomie. La largeur de cette raie d'émission nous renseignera donc sur la vitesse de rotation de la galaxie considérée, c'est-à-dire sur son énergie cinétique interne.

Or, par les bienfaits des lois de la mécanique (théorème du viriel), l'énergie cinétique est directement corrélée à l'énergie potentielle, c'est-à-dire à la masse de la galaxie considérée. Je résume pour ceux qui n'auraient pas suivi, la largeur de la raie 21 cm est reliée à la masse de la galaxie (à une correction d'inclinaison près). Mais ! me diront les gens qui savent qu'une grosse lampe éclaire plus qu'une petite, si la masse est grande la luminosité intrinsèque doit être grande aussi. Eh bien oui. Pour une étoile, et plus généralement pour une galaxie donnée, il y a une relation quasi directe entre la masse et la luminosité. Ainsi, pour prendre un exemple : une galaxie spirale a un rapport masse sur luminosité de 10 (unités solaires) et une galaxie elliptique a un rapport de 40.

Je résume encore une fois pour ceux du fond qui n'écoutent pas : la largeur de la raie 21 cm nous donnera la luminosité à condition que l'on sache corriger l'effet d'inclinaison et que l'on sache quel rapport masse-sur-luminosité adopter. Cette relation entre largeur 21 cm et luminosité, c'est justement la relation de Tully-Fisher. On l'écrit généralement sous forme logarithmique chère aux astronomes comme une relation linéaire entre la magnitude absolue M et la vitesse de rotation :

$$M = a \log_{10} V_m + b$$

où a et b sont deux constantes et où V_m est la vitesse de rotation déduite de la largeur de la raie 21 cm proprement corrigée de l'inclinaison. On ne sait pas trop si a et b dépendent du type morphologique de la galaxie. Ils le devraient, car le rapport masse-sur-luminosité dépend du type morphologique. Mais nous allons voir que ce débat ne nous intéresse pas. C'est là le miracle des galaxies « saucisses ». Toutes ces incertitudes vont disparaître comme par enchantement. C'est ce que nous allons expliquer maintenant.

Les galaxies sosies

Vous ne l'avez peut-être jamais réalisé mais pour mesurer une longueur il faut avoir une règle étalonnée. Il en va de même pour mesurer la distance des galaxies. La règle de référence sera la distance de l'une des galaxies proches, si proche que sa distance aura pu être mesurée (disons en parsecs) grâce à l'étude de son contenu stellaire (les étoiles variables Céphéides par exemple).

Le satellite HIPPARCOS est parti à bord de la fusée Ariane en 1989. Les résultats sont tombés très récemment (Janvier 1997) : la galaxie d'Andromède (alias Messier 31 ou M31) se situerait à la respectable distance de 0,942 Mpc, 3 millions d'années-lumière ou, dit en logarithme, à un module de distance de $\mu_{M31} = 24,87$. Cette révision, si elle est confirmée, est déchirante. Toute mon enfance avait été bercée par le chant de ma grand-mère qui me répétait qu'Andromède avait un module de distance de 24,4 (2,5 millions d'années-lumière). Que voulez-vous ! Tout fout le camp, surtout les galaxies !

Bref, nous avons notre règle

étalonnée, reste à comparer les distances des galaxies lointaines à cet étalon. C'est ce que va nous permettre de faire la relation de Tully-Fisher et la méthode des « saucisses ».

Si nous choisissons des galaxies lointaines ayant la même inclinaison que celle d'Andromède, le même type morphologique que celui d'Andromède et la même vitesse de rotation que celle d'Andromède, la relation de Tully-Fisher nous dit ipso-facto que ces galaxies ont la même magnitude absolue qu'Andromède. Point n'est besoin de savoir corriger de l'inclinaison (elle est la même). Point n'est besoin de savoir si le rapport masse sur luminosité dépend du type morphologique de la galaxie (il est le même). Point n'est besoin... (Cette redondance oratoire me rappelle la formule célèbre de notre

ami Victor

Tryoën :

« la répétition fixe la notion ». Je résumerai simplement en disant que tout étant pareil, tout est pareil, y compris la magnitude absolue. Absolument !

Ecrivons alors le module de distance d'Andromède (que nous désignerons par M_{31}) et faisons de même pour une galaxie lointaine :

$$\mu_{M31} = m_{M31} - M_{M31} \text{ et } \mu = m - M.$$

Par différence entre ces deux relations, on trouve (en se rappelant que $M_{M31} = M$) :

$$\mu = \mu_{M31} + m - m_{M31} \quad (2)$$

Nous voyons donc que la distance de notre galaxie lointaine est égale à la distance de M31 augmentée de la différence des magnitudes apparentes (que l'on sait mesurer). Tout simple.

Bon alors au travail !

La sélection des galaxies sosies d'Andromède

Pour sélectionner les sosies d'Andromède, nous puiserons dans une base de données gigantesque : la base LEDA. 160 000 galaxies y sont enregistrées avec leurs principaux paramètres observés : magnitude, vitesse, largeur 21 cm, inclinaison, type morphologique et j'en passe. Nous pouvons nous connecter sur cette base via internet. Pour cela lançons un programme pour « surfer sur internet » (ce qu'on appelle un « browser ») sur notre ordinateur personnel relié au réseau par un « modem » après avoir contracté un abonnement chez un « provider » (voir figure 1).

www-obs.univ-lyon1.fr/leda/leda-consult.html

Tapons alors l'adresse « WEB » noter qu'une telle adresse est moins charmante que par exemple: Mlle. LEDA, Hameau du bois-joli 42000 Bellevue mais c'est ainsi... bref,

Nous obtenons la page web de LEDA et là nous choisissons la consultation de la base par le langage SQL(java). Tout simple il suffit de cliquer avec une souris. La sélection s'obtient ainsi :

```
SELECT
btc,vlg
WHERE
abs(t-3)<1 and abs(logr25-0.48)<0.05
and abs(w20-536)<50 and vlg>500
END
```

Donnons quelques explications pour rendre compréhensible ce langage ésotérique.

Nous voulons sélectionner la magnitude en couleur bleue (c'est la plus commune actuellement), totale (on veut toute la lumière) et corrigée de l'extinction galactique. Cette magnitude est notée « btc » (pour bleue, totale, corrigée). Nous voulons aussi la vitesse radiale de la galaxie, ce qu'on appelle la vitesse de fuite (cette vitesse nous servira ultérieurement pour calculer la constante de Hubble). Nous choisirons la vitesse rapportée au centre du groupe de galaxies locales (ce qu'on appelle le Groupe Local), d'où la désignation « vlg » pour vitesse par rapport au groupe local.

Cette sélection se fait avec la phrase : `SELECT btc,vlg`. Jusque-là ça va !

Mais cette sélection ne doit être faite que pour les galaxies répondant à la bonne définition de sosies. Nous avons quelques explications à donner. Accrochez-vous !

- Le type morphologique est codé selon la méthode de G. de Vaucouleurs, de -5 pour les galaxies elliptiques à 10 pour les galaxies irrégulières en passant par 3 pour les galaxies comme Andromède. Or, nous voulons les galaxies « comme » Andromède (à peu près). Donc nous voulons que le code, noté « t » soit compris entre 2 et 4. C'est ce qu'on écrira : $\text{abs}(t-3) < 1$. Pour les non matheux, disons que cela signifie que t ne diffère pas de 3 de plus d'une unité.

- Parlons maintenant de l'inclinaison. Une galaxie vue de face a un contour à peu près circulaire. Une galaxie vue sous un angle d'inclinaison quelconque aura un contour en forme d'ellipse. Le rapport des axes de cette ellipse (a / b ou b / a) nous

renseignera sur l'inclinaison. Dans la base de données, ce rapport d'axes est donné en échelle logarithmique et est noté « logr25 » (je pourrais vous expliquer pourquoi mais vous le trouverez dans la documentation de LEDA). Pour Andromède $\text{logr25} = 0.48 \pm 0.2$. Pour obtenir les galaxies ayant la même inclinaison que Andromède, nous dirons donc comme précédemment :

$$\text{abs}(\text{logr25} - 0.48) < 0.05.$$

- Enfin pour sélectionner les galaxies qui tournent à la même vitesse qu'Andromède (c'est-à-dire qui ont la même largeur 21 cm, notée w20) nous écrirons de même : $\text{abs}(w20 - 536) < 50$ (ce sont des kilomètres par seconde).

Comme nous voulons que les trois conditions soient réunies, nous écrirons donc bien :

$$\text{abs}(t-3) < 1$$

$$\text{and } \text{abs}(\text{logr25} - 0.48) < 0.05$$

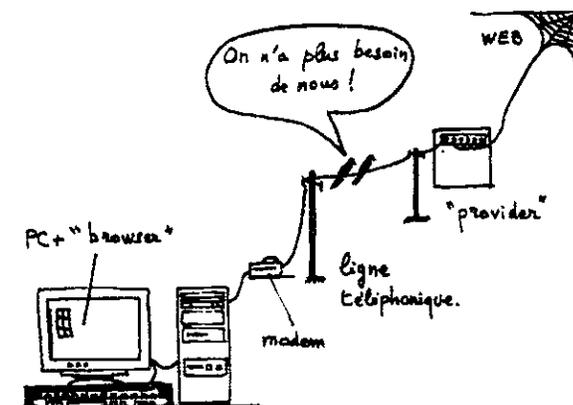
$$\text{and } \text{abs}(w20 - 536) < 50$$

Le résultat est que notre sélection (SELECT) sera faite là où (WHERE) les trois conditions seront remplies. C'est fini (END).

Après une courte réflexion la machine vous dit : 16 galaxies sélectionnées et vous obtenez les « btc » et les « vlg » que je vous donne ci-dessous. Sachant que la magnitude btc d'Andromède est $\text{btc} = 3.11$ et que contrairement à ce que me disait ma grand-mère son module de distance sera pris égal à $\mu\text{M}31 = 24.87$, vous n'aurez qu'à appliquer la formule (2) (dans laquelle les magnitudes apparentes seront les btc) et vous aurez le module de distance pour chacune des galaxies. Vous pourrez en déduire la distance en mégaparsecs (formule (1)) pour chacune des galaxies et ensuite... patience... .

Si nous voulons calculer les distances des galaxies ce n'est pas pour aller y passer des vacances. Notre objectif pourrait être par exemple de tester la loi de Hubble qui nous dit que la vitesse de fuite d'une galaxie est d'autant plus grande que sa distance est grande. C'est la fameuse loi de Hubble (voir l'encadré : La loi de Hubble et l'âge de l'Univers) : $V=H.r$

Figure 1 : Connectez-vous (ou "accordez des agers voyageurs")



Le calcul final (table 1) conduit à une valeur moyenne $H = 62 \pm 3 \text{ km.s}^{-1}.\text{Mpc}^{-1}$.

L'âge de l'univers, estimé par l'inverse de la constante de Hubble (voir l'encadré), est alors de 16 Milliards d'années (le calcul est facile à faire, il suffit de savoir que $1 \text{ pc} = 3,26 \text{ a.l.}$). Cependant on peut se demander quelle serait la constante de Hubble et l'âge de l'univers si ma grand-mère avait raison (elle prétendait que M31 était situé à 2,5 millions d'a.l. et non à 3,0 millions d'a.l.). La constante de Hubble serait simplement $74 \text{ km.s}^{-1}.\text{Mpc}^{-1}$ et l'âge de l'univers serait de 13 Milliards d'années. Cette valeur est un peu faible pour être compatible avec l'âge des étoiles les plus vieilles.

NDLR : On relira à ce propos l'article de L. Gouguenheim "la constante de Hubble et l'âge de l'Univers" (CC76).

Note

(1) "sosies" n'a pas d'équivalent en anglais. La traduction la plus proche serait "look alike". Pour faire smart n'oubliez pas qu'en anglais "sosies" se prononce "saucisse". Ce sera tout bon.

Ach so!
galaxies sosies, sehr gut!



TABLE 1 :

btc	vlg km.s ⁻¹	μ	r Mpc	H=vlg/r km.s ⁻¹ .Mpc ⁻¹
3.11	-13.	24.87	0.94	-
12.77	5039.	34.53	80.54	63
12.21	5451.	33.97	62.23	88
13.64	8438.	35.40	120.23	70
12.19	3678.	33.95	61.66	59
13.25	5318.	35.01	100.46	53
13.21	4848.	34.97	98.63	49
11.46	2281.	33.22	44.06	52
12.77	6172.	34.53	80.54	77
11.71	2538.	33.47	49.43	51
13.95	8185.	35.71	138.68	59
14.27	6945.	36.03	160.69	43
13.84	7077.	35.60	131.83	54
13.17	6635.	34.93	96.83	69
13.17	6895.	34.93	96.83	71
14.57	12520.	36.33	184.50	68
$62 \pm 12 / \sqrt{15}$				

La loi de Hubble et l'âge de l'Univers

Si nous étions plats et si notre Univers était la surface d'une sphère, la distance entre deux galaxies G_1 et G_2 serait :

$$r = \alpha \cdot R$$

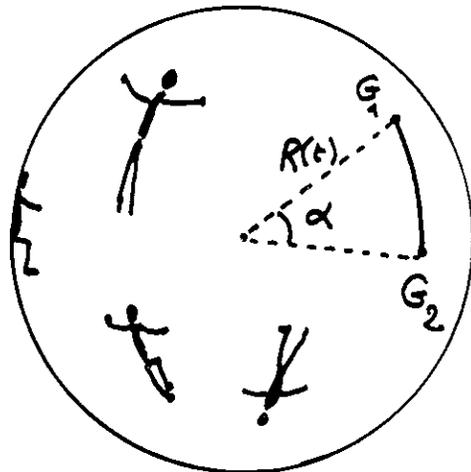
Si R variait avec le temps
la vitesse entre G_1 et G_2 serait :

$$V = \frac{dr}{dt} = \alpha \cdot \frac{dR}{dt} = \alpha \cdot \dot{R} = \frac{r}{R} \cdot \dot{R}$$

d'où

$$\boxed{V = H \cdot r} \quad \text{avec} \quad H = \frac{\dot{R}}{R}$$

c'est la loi de Hubble. H est la constante de Hubble.



Mais alors la constante varie!

Si maintenant nous supposons que

$$R(t) = a \cdot t \quad \text{alors}$$

$$H = \frac{\dot{R}}{R} = \frac{a}{a \cdot t} = \frac{1}{t}$$

t est le temps que l'Univers a mis pour atteindre le rayon R . c'est l'âge de l'Univers.

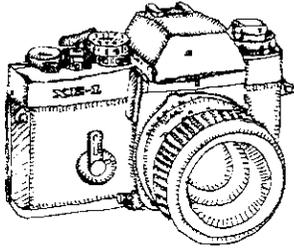
$$\boxed{t = \frac{1}{H}}$$

évidemment avec des "Si"



Eh Oui Forest!





Temps magique en Guadeloupe

Anne-Marie Louis

REPORTAGES

Si le temps qu'il fait et le temps qui passe sont les préoccupations majeures lors de l'observation d'une éclipse totale, l'information et sa diffusion réservent aussi des surprises... Pour Août 99, préparez-vous !

Une migration massive vers l'Ouest des Enseignants-Astronomes de la zone B était déjà organisée. Initialement les vacances de la zone C devaient se terminer le 25 Février. Lorsque Ségolène décida, pour des raisons qui n'étaient sans doute pas purement astronomiques, de repousser au 2 Mars la date de la rentrée, ce fut le signal d'une deuxième migration rejoignant la première. Attention, 26 Février, nous voilà.

Un ami Martiniquais avait bien essayé de nous convaincre de venir voir l'éclipse dans son île. Je m'étais étonnée: "Vraiment ? Mais quel jour et à quelle heure ?" Il m'avait dit qu'on ne savait pas encore mais que là-bas ils allaient "peut-être faire ça sur deux jours". Persuadée qu'avec le ti'punch c'était bien possible, je lui avais souhaité bonne chance. C'est ce jour-là que j'avais décidé d'acheter des billets pour la Guadeloupe. "Bonjour madame la marchande de billets d'avion, je voudrais aller à Pointe-à-Pitre et en revenir." - "Rien de plus simple, me dit-elle, vous revenez le 3 Mars." Je répondis que la Ministre ne voudrait probablement pas. "Alors, retour le 25 Février." Oh non, s'il vous plaît ! Et j'expliquai : une éclipse de Soleil totale, oui, totale, le 26 Février en début d'après-

midi. Il FAUT que j'y sois. Elle me suggéra de rester ici, alors, pour être certaine de la voir ! La Guadeloupe, dis-je, est la seule île française d'où l'éclipse sera visible. Tout à coup cela lui rappelle quelque chose: "une éclipse, n'est-ce pas ce que nous avons vu l'année dernière ?" Oui, dis-je avec passion, mais elle était partielle, c'est intéressant mais une éclipse totale, c'est mille fois mieux, il va faire nuit et... "Il fera nuit toute la journée ?" s'enquit-elle visiblement intéressée, je lui précisai que le phénomène était bref, mais inoubliable, et qu'en Août 99 une bonne partie de la France métropolitaine pourrait l'observer. En échange de quelques précisions supplémentaires, elle me trouva des places pour le retour le soir même de l'éclipse, ce qui ne laissait guère de temps pour la fêter après, mais on pouvait toujours la fêter avant ! Départ 13 h, atterrissage 16h35, et au retour départ 19 h, atterrissage vers 8 h le lendemain, il semble bien que la durée du vol soit de 8 heures, non ?

Avant de partir, un peu de diffusion des informations auprès des amis et collègues qui partent (il y aura foule !) : photocopiage d'articles, surlignage d'horaires en fluo suivant la plage de destination, explication du décalage de 4 heures :

avec le temps universel, bavardage à la récré avec l'infirmière du lycée qui part aussi : je note, me dit-elle, 13 h 14, non, 43 h 31, non, 13 h 41, non, entre 14 h 31 et 14 h 34, voilà, c'est noté ! Et vous croyez qu'il fera vraiment nuit ? Oui, en plein jour ! Bon voyage. Vous aussi. Et bonnes vacances, surtout ! C'est sûr, les cocotiers, les cascades, ça, pour en profiter, on va en profiter !

"Dès l'aérogare, j'ai senti le choc!" comme chante Claude Nougaro : à l'entrée de sa boutique, le marchand de lunettes spéciales a mis une grande banderole - 26 Février 13 h 30 - avec un beau soleil éclipsé. Ciel, me serais-je trompée? Je révise mentalement en attendant l'arrivée des bagages : le Bureau des Longitudes indique le premier contact à 17h05 T.U., le second vers 18 h 31 T.U., le maximum de l'éclipse vers 18 h 32 T.U. (heures légèrement variables selon le lieu) ce qui fait bien 14 h 32 ici, non ? Installée au calme, je vérifie dans Ciel et Espace : le maximum est donné à 17 h 28 min 23,2 s . Bon. Je crois que je suis un peu décalée horairement, car il est 22 heures, donc 3 h à ma montre. Je ne m'affole pas. En temps universel il est 2 h, je vais m'accrocher à cette certitude et ne pas toucher à mes instruments métropolitains de mesure du temps. On verra la suite demain. Avant de sombrer dans une tropicale torpeur, je jette un œil (un seul) sur VOYAGER Magazine, n° 77, qui comporte un reportage sur l'Archipel de la Guadeloupe. Et je lis page 84 : décalage horaire - 5 h en été, - 6 h en hiver. Mon mari me dit que c'est normal parce que la Guadeloupe est en avance, je dis que non tout de même c'est un peu fort, en retard puisque dans le mouvement de rotation de la Terre la Guadeloupe passe dans le méridien du Soleil après Paris, puis passe dans la nuit après ... Mais l'ombre de la Lune sur la Terre passera bien sur les Galapagos puis le Venezuela avant d'atteindre les Antilles et de finir sa course au large du Maroc... et c'est comme cela que j'ai perdu le sommeil. Bien sûr 17 h 28, c'est le maximum de l'éclipse quelque part dans l'Océan Pacifique, et Ciel et Espace ne donne que les circonstances générales et non les circonstances locales pour des lieux géographiques donnés. Cela me rassure un peu mais ne me décontracte pas totalement.

Le lendemain matin nous commençons à chercher un site pour l'éclipse et à glaner un maximum d'informations. Intéressante exposition au Moule, en collaboration avec Ciel et Espace, mais encore une fois, une belle photo d'éclipse et ce commentaire : le Soleil tel que nous le verrons le 26 Février à 13 h 32. Bon, s'ils le disent, d'accord, et j'abdique en transpirant... Achat de T-shirts de l'éclipse, de lunettes pour l'éclipse (mylar, polymères) de cartes

postales de l'éclipse (intégralement noires !)... Sur les routes, de grands panneaux publicitaires s'inspirent de l'éclipse ("Rien n'éclipse Royal Soda"; "1998 : une année pour tout voir, à vos lunettes le 26 Février avec Lynx Optique") ou apportent une information : "le 26 Février 1998 de 13 h 30 à 16 h 06 portez des lunettes protectrices." Pourquoi 13 h 30 ? Pourquoi 16 h 06 ? Mystère ! Premier contact vers 13 h 05, dernier contact vers 15 h 49 ! A notre hôtel il y a un petit bureau d'informations avec vente de lunettes protectrices (un bon point : on n'en trouve pas partout). Un polycopié, clair, bien fait, et joli, est distribué. On peut lire : 14 h 32 (ah! l'heure est correcte : un autre bon point) "c'est le seul instant où l'on peut voir la chevelure de la chronosphère (sic). L'activité du Soleil est intense (re-sic), son cycle de onze ans s'achève en 2002. Ceci permet d'attendre une observation plus étendue de la chronosphère, jusqu'à 10 fois le diamètre du Soleil." C'est ce jour-là que j'ai aussi perdu l'appétit.

Mises à part ces quelques perles, l'information est abondante et dans l'ensemble bien faite. En ce qui concerne la sécurité elle est très correcte: il est clairement précisé partout que les lunettes sont obligatoires pendant toute la phase partielle, mais que l'éclipse totale s'observe sans lunettes. Des émissions de radio donnent la parole aux auditeurs : il est clair que non seulement les gens sont bien informés, mais aussi que la plupart sont très intéressés, impatients et curieux de voir le phénomène. Bien sûr il y a toujours dans ce genre d'émission la question un peu saugrenue mais pleine de bon sens...: une auditrice demande si elle pourra rester chez elle avec la lumière allumée ...Personne n'y voit d'inconvénient. Au cours de la même émission, l'invité "scientifique" chargé de répondre aux questions affirme que c'est là une des rares occasions que l'on a de "voir le cosmos" parce qu'en temps normal le Soleil "nous empêche de voir le cosmos" mais que jeudi pendant 2 min 52 s environ "nous pourrons voir le cosmos". Ce que j'aime dans ces émissions , c'est qu'au moins j'acquiers des certitudes.

Pendant le même temps le Carnaval faisait aussi une jolie place aux astres et à l'éclipse. Le défilé du Mardi-Gras à Basse-Terre, en particulier, fut un régal pour les photographes, et pour tous la révélation du travail accompli, non seulement dans la confection et la décoration des costumes et des chars, mais aussi dans le domaine de la connaissance scientifique.

On pouvait voir défiler dans la rue : tout le zodiaque en carton-pâte, et des Soleils, et des Lunes, et des systèmes solaires complets sur des chapeaux. Des robes reproduisant les plans sécants des orbites de la Terre et de la Lune, et un télescope et des fusées de plusieurs mètres, et des petits spatonautes de 1,20 m. Une pendule à l'heure de l'éclipse, et la Guadeloupe dans l'ombre, et la couronne solaire en paillettes dorées...et pour finir une présentation onirique et toute en voiles des planètes... L'astrologie avait été incluse dans les jeux de hasard et autres grattages lucratifs, ce qui me parut relativement moral. Lorsqu'à la nuit le défilé prit fin, le moteur de mon appareil photo n'émettait plus qu'un feulement épuisé, reuh ...reuh...

J'avais pourtant négocié avec mon Nikon un accord très précis : je lui laissais la nuit pour récupérer (trop de brume et de passages nuageux), mais il fallait qu'il soit opérationnel vers 5 heures pour Vénus, la Lune, ou les deux (qui avaient eu la bonne idée de conjonctionner le lundi 23 dans les feux du Soleil levant). Aucune faiblesse n'avait été tolérée: chaque jour nous avons vu la Lune devenir plus petite et se rapprocher du rendez-vous ! Mais figurez-vous que mercredi 25 : rien. Le croissant pouvait-il être visible 33 heures avant l'éclipse ? A mon avis, oui.

Mais nous n'en aurons pas la preuve ce matin-là, de gros nuages noirs envahissant tout le ciel.

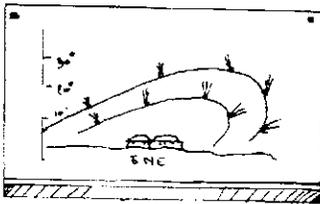
C'est donc sous une pluie battante que nous arrivâmes au Lycée de Sainte-Anne, où nous attendaient Chantal Lagny-Vandais et Michel Dufourg pour la petite réunion du CLEA, à laquelle vinrent aussi quelques astronomes amateurs. Ils avaient tous bravé les intempéries pour être là : Marie-France Duval, Françoise Suagher, Catherine Vignon, Daniel Schlumberger et leurs amis. Tous avaient ce matin-là une préoccupation commune : le TEMPS. Temps pourri, temps de chez nous, un temps à ne pas mettre un ouassou¹ dehors... Michel nous rassura en nous disant qu'il n'y avait pas eu un tel temps depuis quatre mois (!) mais que la météo locale n'était pas celle des pays tempérés, et que tout pouvait encore s'arranger ! Bien sûr le choix du site, des pellicules, des ouvertures et des temps de pose fut aussi à l'ordre du jour. Ceux qui avaient vu d'autres totales racontèrent aux autres tout ce qu'ils pourraient voir si le temps le permettait : l'arrivée du cône d'ombre, les ombres volantes visibles sur un drap blanc, comment faire des photos d'ambiance, comment traquer la chromosphère, les protubérances et la couronne, comment fixer le matériel en prévision du vent d'éclipse... et comment utiliser au

mieux le temps, si court, de la totalité. On repartit, l'espoir au cœur et la tête pleine de conseils !

Mercredi après-midi, le temps se rétablit si bien que le sommet de la Soufrière apparut bien dégagé, ce qui n'est pas si fréquent. En haut, le Soleil revigoré nous offrit quelque beaux spectres du Brocken sur les nuages en contrebas, et même dans les vapeurs sulfureuses du cratère Sud, et termina en projetant une majestueuse ombre du volcan avec convergence des rayons anticrépusculaires sur le sommet. Ces phénomènes lumineux ne pouvaient être que d'heureux présages pour le lendemain, et c'est ce jour-là que j'ai compris comment on pouvait être superstitieux ! Evidemment, avant une éclipse, la nuit est longue (dormir...mais comment peut-on dormir une veille d'éclipse ?) Vous pouvez essayer de compter des racoons², ou alors relire en entier les 97 pages de "Calcul des circonstances de l'éclipse", le fascicule du BDL, y compris les éléments de Bessel sous forme polynômiale. Le Centaure, le Scorpion, la Croix du Sud ont une forme impeccable, eux. (Manger... mais comment peut-on manger un jour d'éclipse ? Tout vérifier, comme si tout n'avait pas été déjà vérifié quinze fois ...)

Nous rejoignons un petit groupe sur la plage choisie deux bonnes heures avant le premier contact. Plusieurs gros objectifs sont déjà en place, cloués au sol par des sacs poubelle remplis de sable, prêts à affronter le retour du cyclone Hugo, au moins ! A 13h05, premier contact. La Lune arrive bien du côté prévu et commence à grignoter très doucement le disque du Soleil. A 13 h 45, petit frisson en pensant que l'ombre a atteint la côte de Colombie. Nouveau frisson à 14 heures parce que le Venezuela est peut-être dans l'ombre, mais nous aussi ! Le petit nuage pas trop gênant qui flâne au-dessus de cette côte depuis notre arrivée semble s'y plaire. Non seulement il ne bouge pas mais il grossit et s'étale, alors qu'ailleurs le ciel est bleu. La décision est vite prise : il faut se déplacer vers l'intérieur des terres où IL FAIT BEAU. On embarque pêle-mêle le matériel, les serviettes de bain et les sacs de sable. La lumière baisse si vite que nous avons l'impression d'avoir des vitres fumées. Il reste vingt minutes avant la totalité lorsque nous nous réinstallons dans la clairière d'un champ de canne à sucre.

Suite et fin p.38



Spectacle et pédagogie

Philippe Huyard,

directeur du Planétarium de Saint-Etienne

PÉDAGOGIE

Le texte qui suit n'est pas une recette ou un mode d'emploi pour concilier ces deux notions. Il n'est pas non plus une réflexion purement théorique. J'ai simplement souhaité faire le point, à partir d'une pratique de plus de 5 ans, basée sur un projet qui s'était nourri d'idées et de conseils collectés, autant que d'options personnelles. La réflexion sera centrée sur le public scolaire, bien que des similitudes existent avec le public familial.

Afin de comprendre ce qui va être dit, il faut avoir à l'esprit quelques aspects matériels importants.

● Les caractéristiques du planétarium concerné :

- Il peut accueillir 75 personnes, soit 2 classes de lycée, ou 3 classes d'école primaire au maximum.

- Il est unidirectionnel et dispose d'un ensemble audiovisuel composé d'une quinzaine de projecteurs de diapositives, d'une unité vidéo et d'un système de diffusion sonore.

● La durée d'un accueil de classe est de plus d'une heure 15 minutes. Le spectacle ne constitue qu'une moitié du temps d'une séance, soit 35 minutes environ.

Le planétarium tel que défini plus haut, n'est pas une salle de classe

Cela signifie que l'on ne peut pas agir comme en classe. Pendant la partie spectacle, la place de l'enseignant disparaît quasiment, la

perception de l'attention des élèves est très difficile (encore plus qu'en classe!). Une intervention n'est pas possible en cours de spectacle. Il n'est donc pas possible de transposer ce qui serait une excellente présentation par un enseignant, en un spectacle. C'est sans doute une évidence, mais il est utile de privilégier au planétarium toutes les simulations qui ne peuvent être faites aussi bien avec d'autres moyens.

Le groupe d'élèves se trouve face à une réalisation audiovisuelle

Ce qui sera perçu, le contenu, sera étroitement lié à la forme. Le contexte audiovisuel dans lequel vivent les élèves se caractérise par la prédominance de la vidéo. C'est à dire une image en petit format, voisin du carré, où l'oeil est naturellement amené à lire à partir du centre. La construction liée au montage vidéo obéit à sa propre logique. Le rythme est rapide.

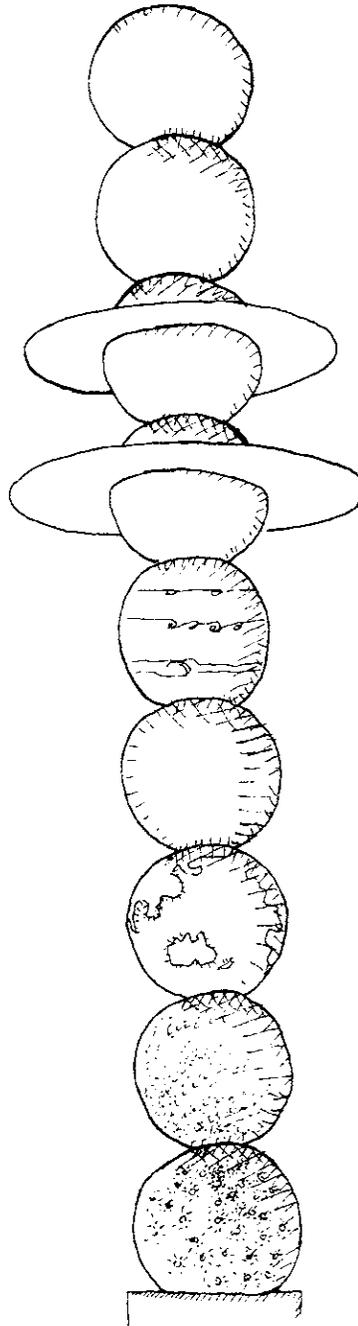
Au planétarium, il y a quelques caractères foncièrement différents : le regard se promène, car le champ visuel proposé est beaucoup plus large. L'ambiance est souvent assez sombre et les transitions avec des moments plus lumineux sont d'une gestion délicate. Cela constitue un effet de surprise, qui peut être désagréable, ou au contraire qui soutient ou relance l'attention.

L'écriture de cette réalisation devra prendre en compte tous ces paramètres. Avec un exemple simple, on comprendra mieux les contraintes de ce lieu. Imaginons un moment pendant lequel, nous allons évoquer les planètes, situées dans le plan de l'écliptique. Ce ne sont que des petits points lumineux, qui peuvent être fort espacés. Seront-ils vus, tous vus, au cours d'une simple phrase à laquelle s'ajoute un "pointage" sommaire?

On peut en douter et l'expérience le montre, il faut prendre le temps nécessaire pour annoncer le visuel, le laisser voir, puis le souligner de diverses façons. Les différentes places des spectateurs, et les points de vue sur le dôme conditionnent aussi leur capacité à suivre le propos développé.

Le cheminement visuel et intellectuel de celui qui sait, ne peut être le même que celui qui découvre. La part de ce qui peut être dit et montré est bien différente de ce qui peut être perçu et compris. C'est vrai dans d'autres situations, c'est encore plus vrai au planétarium.

Les objectifs pédagogiques imposeront des choix. Si l'on veut que quelque chose soit tout d'abord perçu, puis compris et que cela apporte quelque chose aux élèves, il y a des choix à faire. Dans le déroulement d'un spectacle automatique, il faut parfois renoncer à une phrase et à son visuel associé si l'on sent que cela n'apportera rien.



Cette réalisation audiovisuelle devrait pouvoir se suffire à elle-même. Il n'y aurait rien à dire de plus. La pratique prouve le contraire. Si l'on peut imaginer une amélioration du spectacle, on ne peut pas faire l'économie d'une démarche complémentaire dans le processus d'apprentissage.

La place du pédagogue

Le pédagogue est ici entendu comme le personnel du planétarium. La complémentarité avec ce qui a été fait en classe est trop difficile à analyser ici.

Une séance débute par un accueil du groupe. Il faut dans la démarche de communication et d'apprentissage situer les rôles. L'apparence de la salle, voisine du cinéma, favorise une attitude passive, consommatrice. Lors du temps d'accueil, une autorité ferme mais bienveillante donne les consignes : Partir de ce que l'on sait où des questions que l'on se pose pour aller plus loin. Pour éviter le risque lié au vaste sujet qu'est l'astronomie, il faut, comme dans le spectacle, faire des choix. Il est indispensable de maîtriser quelques éléments de vocabulaire. Définir un terme, avec les élèves avant de le retrouver au cours du spectacle est parfois indispensable. Sur quels points importants va-t-on attirer l'attention, et de quelle façon? A propos de ce qui n'est pas acquis avant la séance, il est préférable de travailler à la formulation d'une question, en indiquant que la réponse, ou des éléments de réponse, seront dans le spectacle.

On doit donc débiter le spectacle en ayant placé les élèves à la recherche de quelque chose. On privilégiera les notions riches par rapport aux aspects factuels ("dans quelle zone du ciel circulent les planètes" ? , plutôt que "quel est le nom du satellite de Pluton" ?).

Après le spectacle, un retour sur cette même notion mais avec de nouveaux éléments doit permettre d'établir plus solidement une notion. On retrouve ici une constante en pédagogie : dire ou répéter de différentes façons pour progresser.

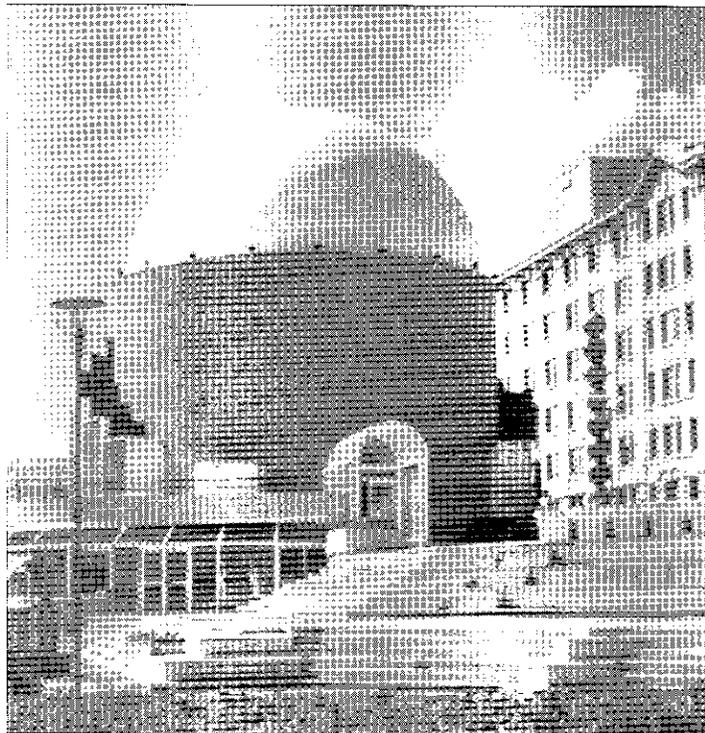
Cette démarche, qui vise à s'adapter au groupe peut paraître lente, mais elle est sans doute préférable à un survol de multiples notions censées être au programme du groupe concerné. Il faudra aussi admettre que certaines questions n'auront pas forcément une réponse lors de cette séance, non faute de temps mais faute d'éléments pour étayer ce que l'on pourrait dire, montrer, et qui soit compris du groupe.

La dimension spectaculaire

Nous sommes maintenant à une époque où existent de nouveaux moyens de projections, différents de l'écran plat du cinéma. Le public que nous recevons y a parfois goûté ou en a entendu parler. La configuration de la salle donne à penser qu'il s'agit d'une projection spectaculaire. Il n'est ni possible, ni utile de se placer sur le même registre avec des effets "à grand spectacle". L'image de la voûte étoilée, est elle même une image spectaculaire. Pour certains, le plaisir de cette simulation sera suffisant. Ils sont les moins nombreux et nous devons nous placer d'une certaine façon, sur le "spectaculaire". Il y a plusieurs raisons pour cela. Il faut saisir l'attention. Sans cette condition toute tentative de transmission d'information est vaine. Ce qui va être fait pour cela doit être évalué et mesuré. Si l'effet est trop fort la sensation prime sur l'observation, l'attention, l'écoute.

Si les écarts sont trop importants entre des moments forts et d'autres, l'attention retombe. Le spectateur attend le prochain effet marquant.

Comment aborder le caractère spectaculaire de l'image. La forme de l'écran est une invitation à travailler pour une image différente de nos canevas habituels (diapo ou vidéo). La construction des images doit tirer profit du dispositif matériel. Les grandes images, qui servent à donner des proportions impressionnantes et significatives, sont à notre portée.



L'animation peut être modeste sur le plan technique, mais avoir une efficacité réelle, pour soutenir l'attention. Par exemple un document qui dans un livre pourrait se concevoir comme une seule image peut ici être projeté par étapes cumulatives, pour soutenir le propos et conserver l'attention du public.

Il existe une banalisation de l'image (scientifique ou autre). On a déjà vu, on croit donc que l'on a déjà pris le sens et l'intérêt de l'image. Le travail de mise en image vise donc à créer ou relancer

l'intérêt pour dépasser l'impression première, pour donner du sens à ce qui est montré. Le savoir d'une discipline se traduit souvent par la capacité à interpréter un document. Le caractère spectaculaire d'un document, doit pouvoir donner envie de l'analyser pour en tirer une information. Le travail sur le registre spectaculaire doit placer le spectateur dans une situation la plus "active" possible. Attention là encore, à ne pas précipiter les étapes. Montrer avant d'expliquer est un principe qu'il faut garder présent à l'esprit dans la construction du spectacle. On pourra donc imaginer aussi des séquences qui donnent à voir, étape préalable à une information construite.

Un des mérites du spectaculaire n'est peut être pas immédiat. Si le sens a eu suffisamment de place par rapport à la sensation, on peut tout simplement souhaiter qu'un intérêt soit né à l'occasion de cette séance. A l'inverse une présentation perçue comme ennuyeuse détournera du sujet que l'on se proposait de rendre intéressant.

En guise de conclusion, je dirai qu'il n'y a pas une opposition fondamentale entre spectacle et pédagogie à partir du moment où ceux qui conçoivent et mettent en oeuvre ce type de séance ont compris les règles de ces deux disciplines et travaillent en étroite coopération.



Et pourtant, il tourne !

Exploitation de relevés de taches solaires à l'aide d'un logiciel

Bernard Lacour

BUT : Ce travail a pour objet de mesurer la période de rotation synodique du Soleil par exploitation de relevés de taches solaires mais avec un large éventail d'activités possibles à choisir selon l'état du ciel et le temps dont on dispose avec les élèves.

Il permettra aussi de comprendre la variation de l'orientation du Soleil vu depuis la Terre et les causes associées.

Je vais donc décrire le travail possible dans les meilleures conditions qui soient, puis après dans de moins bonnes...

Si tout va pour le mieux

1 - Technique de projection

L'idéal est évidemment de commencer par observer réellement le Soleil et de faire des relevés avec les élèves. Pour cela, on doit disposer d'une modeste lunette ou d'une paire de jumelles (ou même un télescope) et installer derrière l'oculaire un écran pour projeter l'image solaire. Un oculaire donnant un grossissement de 30 convient bien. On supposera que l'instrument est sur monture azimutale, cela est suffisant.

On dirige l'instrument (sans aucun filtre) vers le Soleil et on ajuste (**sans jamais mettre l'oeil à l'oculaire**) en réduisant l'ombre du tube de la lunette à un disque centré sur le corps de la lunette elle-même.

Pour savoir à quelle distance placer l'écran derrière l'oculaire, il suf-

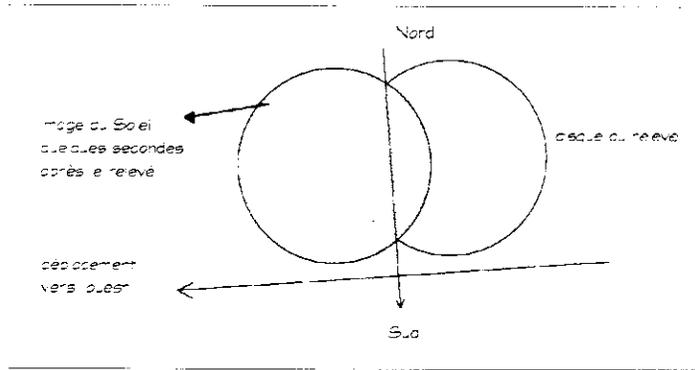
fit de placer une feuille avec un cercle tracé à la taille souhaitée et d'y centrer l'image du Soleil. La netteté s'obtient en jouant sur le tirage de l'oculaire. Si on n'a pas acheté l'écran de projection avec l'instrument, on peut en réaliser un assez facilement pour pas cher. Il est préférable de disposer d'un système permettant un changement aisé des feuilles de relevés sur un fond quadrillé pour faciliter le relevé (avec des petits aimants par exemple).

2 - Relevé de taches

Une fois l'image du Soleil centrée sur la feuille, on relève l'emplacement des taches au crayon à papier (il faut être assez rapide, ce qui n'est pas trop difficile s'il y a peu de taches et si l'on s'est exercé de nombreuses fois avant).

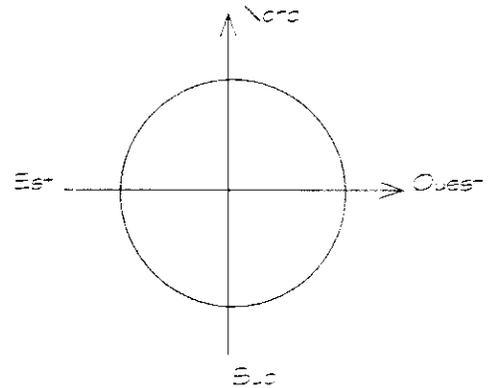
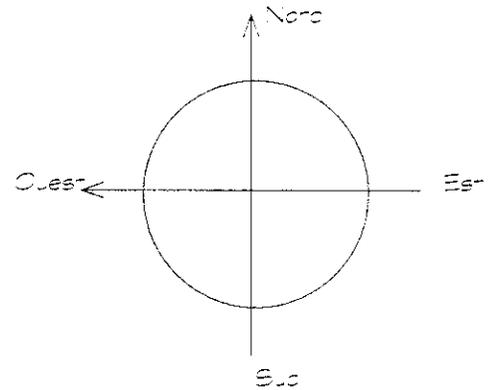
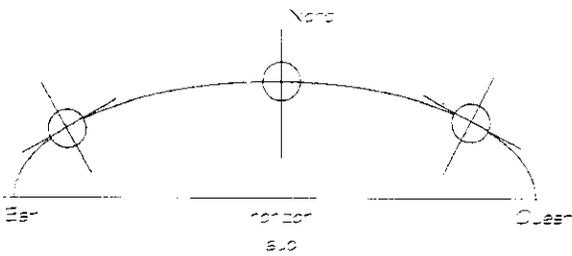
3 - Orientation

La terre tournant, l'image du Soleil se déplace lentement sur l'écran (d'Est en Ouest) et on peut ainsi repérer précisément la direction Nord-Sud céleste : c'est la corde d'intersection



de deux images du disque solaire à quelques secondes d'intervalle (avec une monture fixe sans suivi). C'est fondamental pour le repérage futur des taches. En traçant une parallèle à cette droite passant par le centre du disque et sa perpendiculaire, on obtient une orientation complète du relevé.

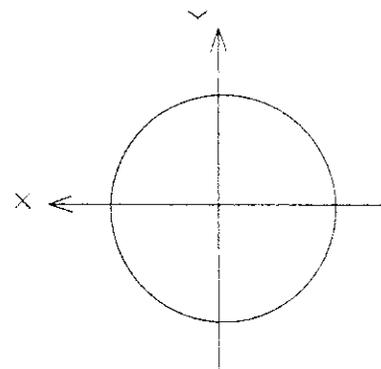
Rappel sur l'orientation en coordonnées équatoriales



L'image du Soleil avec le système de projection utilisé sur un verre dépoli ne subit aucun renversement si l'on regarde derrière l'écran dépoli, mais on aura une inversion droite-gauche (Est-Ouest ici) sur le relevé de papier.

4 - Repérage des taches et données pour le logiciel

On utilise les axes d'orientation sur le relevé comme axes d'un repère cartésien pour déterminer les coordonnées (x et y) en mm de chaque tache. Chaque coordonnée sera ensuite entrée au clavier de l'ordinateur pour le traitement des données avec le logiciel. Attention : celui-ci calcule sur un gabarit de 57 mm de rayon, si le cercle de relevé a un rayon différent, il faudra faire une règle de trois.



Attention à l'orientation de l'axe des abscisses :

5 - Travail avec le logiciel

Il permet avant tout de visualiser le Soleil en 3 dimensions (avec parallèles, méridiens et axe de rotation) avec la compilation de relevés successifs (sur quelques jours) pour mettre en évidence le mouvement des taches.

Voir la partie « Exemple » dans le menu du logiciel

Pour obtenir cette représentation, deux données sont nécessaires :

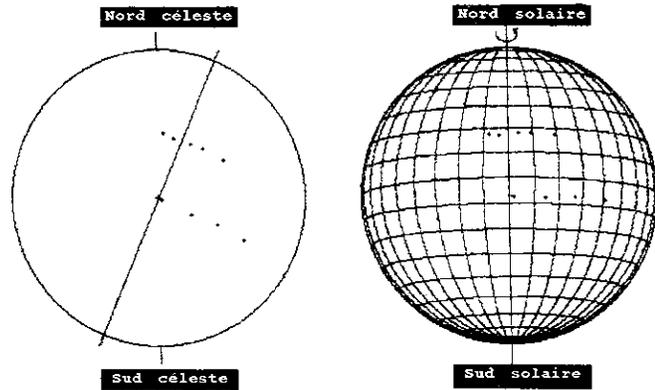
P inclinaison de l'axe de rotation du Soleil par rapport à la direction Nord-Sud céleste.

La donnée de **P** place l'axe de rotation sur le disque de relevés.

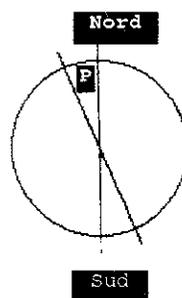
B latitude du point central du Soleil

La donnée de **B** permet d'obtenir l'inclinaison de l'équateur par rapport à notre ligne de visée depuis la terre.

Voir la partie « Animation » dans le menu du logiciel.

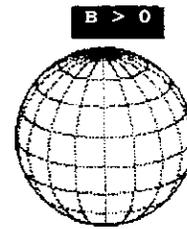
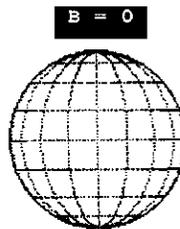


P angle d'inclinaison de l'axe de rotation solaire par rapport à la direction



Nord-Sud céleste

B la latitude héliographique du centre du disque solaire



Le logiciel donne les valeurs de P et B dans la partie « Ephémérides » pour une date donnée. La précision est de l'ordre de 0,5° ce qui est tout à fait suffisant car il faudra rentrer une valeur moyenne (puisque les relevés s'étalent sur quelques jours pour apprécier la rotation). On peut alors vérifier la qualité de ses propres relevés : si une tache traverse un parallèle, c'est mauvais signe !

Le logiciel permet également une mesure (au degré près) de l'angle en longitude parcouru par une tache pendant une durée donnée. On peut ainsi trouver la période synodique à cette latitude.

Le logiciel permet enfin de voir l'évolution de l'orientation solaire sur une année et d'en comprendre les causes. Cette partie (s'adressant plutôt à un niveau Terminale) se propose de modéliser la variation de P et B dans l'approximation d'un mouvement circulaire uniforme de la Terre autour du Soleil.

Sachant que l'axe de rotation du Soleil fait un angle de 7, 25° avec la perpendiculaire à l'écliptique et qu'il s'incline vers la position du 8 septembre de notre planète sur son orbite et connaissant l'obliquité de l'axe terrestre soit 23, 5° on peut proposer comme formules d'approximation :

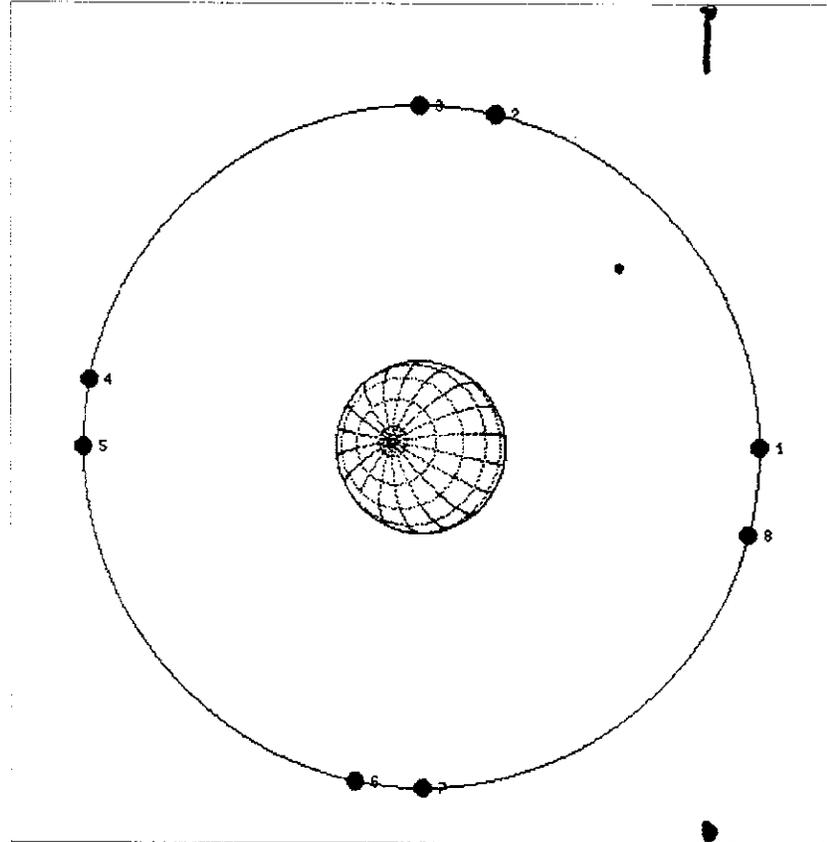
$$B = 7,25 \sin [2\pi (J - J_0) / 365] \text{ et } P = 7,25 \sin [2\pi 125 (J - J_1) / 365] + 23,5 \sin [2\pi (J - J_2) / 365]$$

avec J = énième jour de l'année (J = 1, le 1^{er} janvier et J = 365, le 31 décembre)

J₀, J₁ et J₂ les jours de phase à l'origine à identifier et les différentes positions clés durant l'année :

- 1 le 21 mars, J = 80 , équinoxe de printemps
- 2 le 7 juin, J = 158 , B est nul
- 3 le 21 juin, J = 172, solstice d'été
- 4 le 8 septembre, J = 251, B maximal

- 5 le 23 septembre, J = 266, équinoxe d'automne
- 6 le 8 décembre, J = 342, B est nul
- 7 le 21 décembre, J = 355, solstice d'hiver
- 8 le 6 mars, J = 65, B minimal



Dans la partie « Données, Recherche sur P ou B », des courbes de référence de la variation annuelle des deux grandeurs sont représentées et l'on peut alors proposer les bons paramètres à entrer dans les formules : exemple de travail de modélisation et exercice de repérage dans l'espace ...

On déduit alors :

$$B = 7,25 \sin [2\pi (J - 158) / 365] \text{ et } P = 7,25 \sin [2\pi (J - 251) / 365] + 23,5 \sin [2\pi (J - 172) / 365]$$

Remarque : on pourra faire l'usage du CD Rom « Redshift2 » tout à fait excellent pour visualiser les corps du système solaire et leurs positions relatives.

Si l'on ne dispose que d'une heure...

Après une présentation du système de projection de l'image solaire et de l'orientation du Soleil dans l'espace (transparent avec méridiens et parallèles en superposition au disque solaire au rétroprojecteur par exemple), on peut proposer un travail sur le logiciel avec un questionnaire du type ci-dessous, sans avoir fait de relevés soi-même car il contient des fichiers de relevés directement utilisables :

Exploitation de relevés de taches solaires Travail sur logiciel

- a) Lecture de la **Présentation** pour comprendre les données rentrées à l'ordinateur.
- b) Partie **Ephémérides** pour avoir une représentation de l'orientation du Soleil à une date de l'année.
- c) Pour comprendre les deux grandeurs P et B caractérisant cette orientation, regarder l'**Animation**. (prendre un pas de 10 jours par exemple).
- d) Aller à **Exemple** pour visualiser une compilation de relevés sur une période de 3 jours.
- e) Estimation de la période de rotation du Soleil sur lui-même (vue depuis la Terre soit sa période de rotation synodique) :

Dans la partie **Données, Traitement des mesures**, ouvrir le fichier n°1 du relevé du 8 mars 1994 pour exploiter

Mesurer la latitude et la longitude de la tache n°1 : lat. = long. =

Dans la partie **Mesures**, ouvrir le fichier n°2 des relevés du 13 au 16 juin 1994 pour exploiter la tache n°3 : mesurer sa latitude : lat. =

Mesurer la différence de longitude entre le 13 et le 16 juin : Δ long. =

En déduire la période de rotation T à cette latitude : T = jours

Pour se procurer le logiciel, écrire à
Bernard Lacour, 6 rue Michelet, 71100 Châlon sur Saône
(Joindre 25F pour les frais)



Se préparer à l'observation de l'éclipse totale de Soleil du 11 août 1999

L'Université d'été proposée par l'équipe d'Orsay du CLEA a été retenue : elle se déroulera

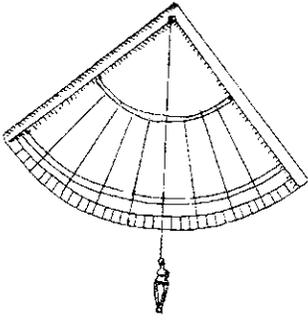
au col Bayard à Gap, du 20 au 26 août 1998,

et sera animée par l'équipe habituelle. Son objectif est de donner aux stagiaires des pistes de travail avec leurs élèves, au long de l'année scolaire. Les modalités des candidatures ont été publiées au BOEN spécial n°2 du 2 avril.

La sélection définitive des candidatures est en cours et sera arrêtée fin mai ; elle nécessite un avis favorable des MAFPEN concernées et même, le cas échéant, une prise en compte du classement effectué par elles.

Nous aurons aussi à rédiger pour le Ministère un compte rendu détaillé, que nous envisageons de publier sur le site Web du CLEA, actuellement en cours d'élaboration. Nos lecteurs en seront informés vers la rentrée.

pour l'équipe
Lucienne Gouguenheim



Bernard Lyot

Évocation de sa personne et de son œuvre

Gérard Lyot

HISTOIRE

Le club Bernard Lyot, société astronomique du Vésinet a commémoré en automne 1997 le centenaire de la naissance de Bernard Lyot. Son fils, Gérard Lyot, a rédigé à cette occasion une biographie et a accepté sa publication dans les CC. De plus il nous a prêté de précieuses photos représentant son père ou liées au travail de celui-ci. Enfin il a lui-même élaboré des croquis à partir d'instruments réalisés par son père et les a mis à notre disposition.

Il y a cent ans, le 27 février 1897, naissait mon père Bernard Lyot.

Quand, en 1917, Bernard Lyot quitte l'École Supérieure d'Électricité, diplôme d'ingénieur en poche, il sort d'une adolescence marquée par deux terribles drames : d'abord, en 1904, la mort de son père, Constant Lyot, brillant chirurgien des Hôpitaux de Paris, puis en 1916, celle de son frère aîné Robert, victime de la Grande Guerre.

Tous ses loisirs sont consacrés aux sciences : électricité, TSF, mais aussi astronomie (il vient d'adhérer à la Société Astronomique de France). Loin de se cantonner dans la théorie, il met chaque notion en pratique, réalisant des montages sophistiqués avec les matériaux les plus rudimentaires. Avec son inséparable ami Marcel Gentili, qui pos-

sède déjà un superbe télescope de 60cm, il s'initie à de minutieuses observations.

Le physicien Alfred Pérot lui offre un poste de préparateur, pour illustrer son cours à l'École Polytechnique ainsi que celui de Jacques Fabry. Grâce au matériel de laboratoire hors pair mis à sa disposition et la qualité de son auditoire, durant onze années il donnera libre cours à sa créativité et à son habileté manuelle dans tous les domaines de la physique, développant ainsi l'aspect pluridiscipli-



naire de sa formation. Parallèlement, il invente pour le Ministère de la Guerre deux procédés originaux de radionavigation pour la marine et pour l'aviation.

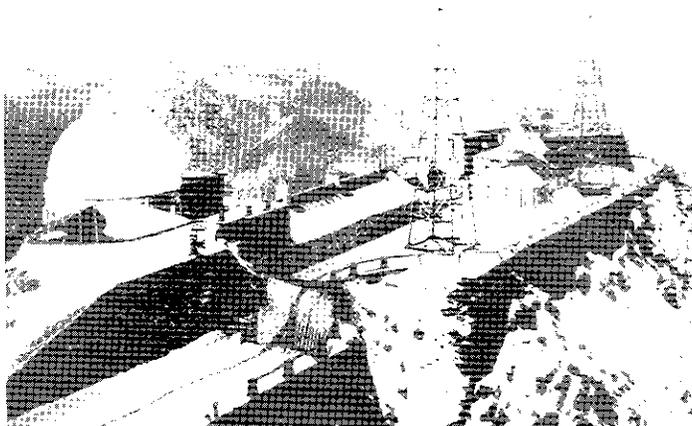
En 1920, Pérot le recommande auprès d'Henri Deslandres, membre de l'Institut et Directeur de l'Observatoire de Meudon pour un poste d'Astronome Assistant. Il ne l'obtiendra qu'en 1925, après avoir décroché les indispensables diplômes universitaires.

En attendant, c'est donc pratiquement en qualité d'astronome amateur et sans aucune contrainte hiérarchique, qu'il débute sa carrière, mais avec un projet précis : on savait déjà que, après réflexion sur un matériau donné, la lumière est partiellement polarisée dans une direction et dans une proportion variable selon l'angle de vue et la nature de ce matériau. La comparaison des courbes de polarisation relevées sur les planètes et sur différents matériaux terrestres pourrait donc être très révélatrice ! Mais il n'existait alors aucun polarimètre suffisamment sensible...

Lyot invente alors et construit lui-même, à partir du polariscope de Savart, un **polarimètre visuel** très lumineux, d'une sensibilité de un millième.

A l'aide de cet appareil et d'une lunette personnelle de 175mm (c.f. croquis n°1) et parfois aussi de la grande lunette de Meudon, il consacre plus de huit ans à tout le système solaire. Il détermine ainsi, avec une précision surprenante, la nature du sol et de l'atmosphère des planètes. Ces résultats, d'une importance capitale, régulièrement publiés par ailleurs, font l'objet de sa thèse en 1929.

Dès 1928, il songe à étendre le procédé à la détection de la couronne solaire, invisible en dehors des éclipses, mais dont on sait que la lumière est faiblement polarisée. Malheureusement, selon une opinion universellement admise, un obstacle semblait insurmontable : la diffusion par l'atmosphère

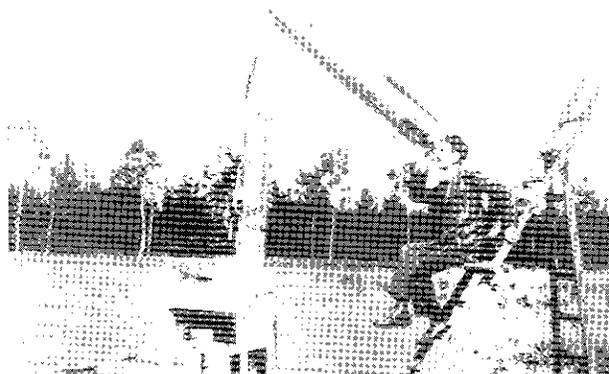


L'Observatoire du Pic du Midi vers 1930

terrestre de la lumière du disque solaire, un million de fois plus intense que celle émise par la couronne !

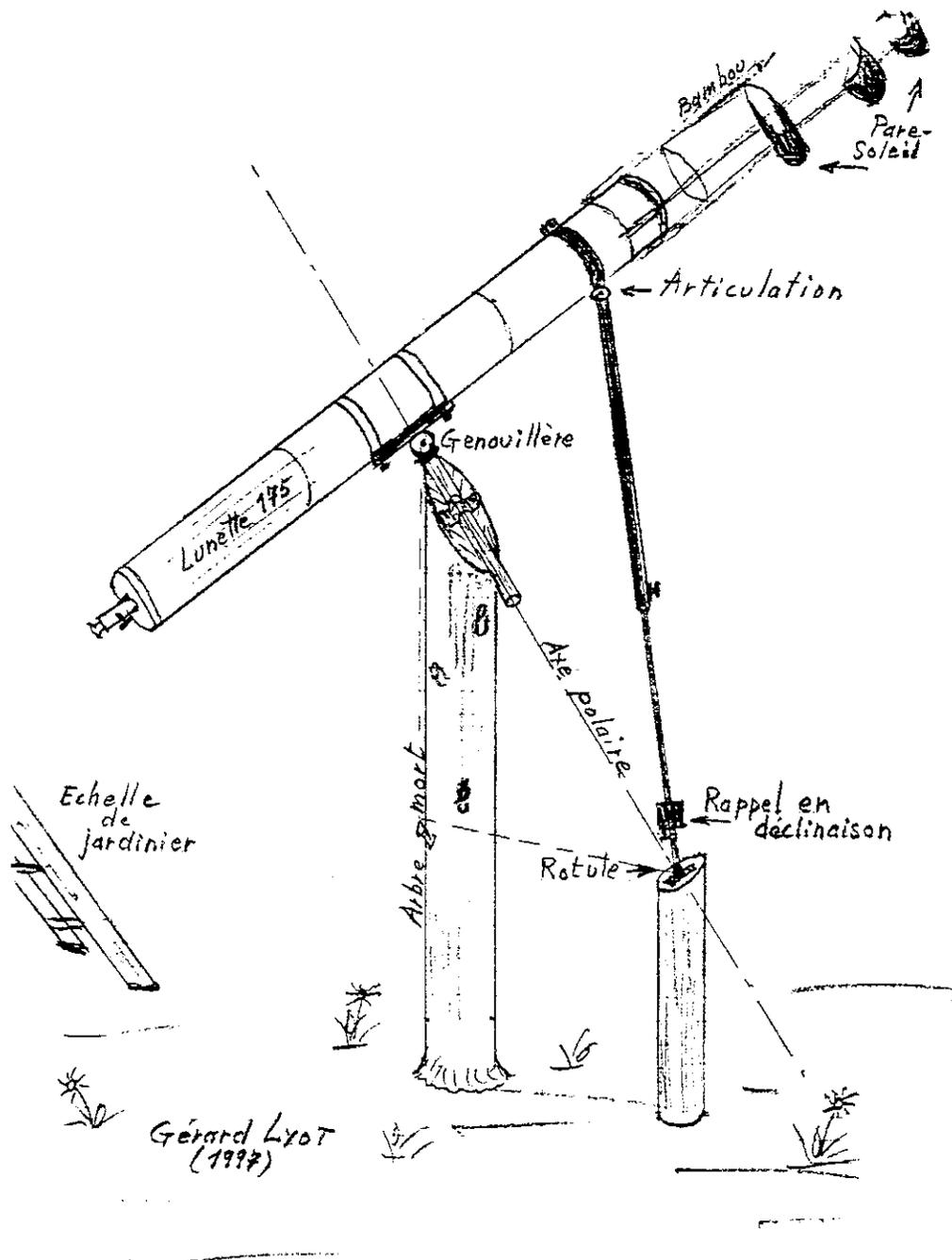
Lyot connaissait déjà ce problème, car pour observer Mercure, il faut parfois pointer la lunette très près du Soleil, et une intense lumière diffuse envahit alors le champ d'observation. En Juillet 1929, sur le conseil de son collègue de Meudon Fernand Baldet, il monte à l'Observatoire du Pic du Midi à 2870 m d'altitude, et reste émerveillé par la transparence du ciel !

Pourtant le problème subsiste en grande partie. C'est la preuve que le responsable en est l'instrument d'observation¹ lui-même et non l'atmosphère. Une étude en laboratoire s'impose. Charles Fabry, directeur de l'Institut d'Optique à Paris met à sa disposition le local approprié : un long couloir à l'extrémité duquel Lyot installe une source lumineuse intense, d'un diamètre apparent voisin de celui du Soleil. A l'autre bout, sur un banc d'optique rudimentaire, l'objectif de la lunette à étudier forme sur un disque opaque une image de la source. La lumière de celle-ci est donc totalement occultée, sauf en ce qui concerne la part due aux défauts de la lentille qui deviennent très visibles. Des clichés stéréoscopiques permettent de déterminer leur position exacte et de sélectionner la partie du verre dans laquelle sera taillée et soigneusement polie la lentille définitive. Pour éliminer l'importante lumière due à la diffraction sur les bords, Lyot a l'idée fondamentale d'en projeter l'image sur un diaphragme au moyen d'une seconde lentille placée derrière le disque opaque.



L'Ile-Bouchard (Indre et Loire), Château du Temple, 1923. Lunette de 175mm. Bernard Lyot, observations de plein air.

Observation de Mercure à l'Île Bouchard



Croquis n°1

La lunette de 175mm utilisée par Bernard Lyot au début des années 20, à l'Île Bouchard, pour ses recherches polarimétriques. Elle est montée sur une simple genouillère de lunette terrestre, fixée parallèlement à l'axe des pôles à un tronc d'arbre entaillé sous le bon angle. Une tige de longueur réglable relie en outre la lunette à un point fixe, dans le prolongement de cet axe. L'ensemble constitue une monture équatoriale suffisamment rigide pour des délicates mesures, comme ici sur la planète Mercure. Des caches, fixés à des bambous, protègent l'objectif du Soleil. Il fallait du doigté pour travailler dans ces conditions...

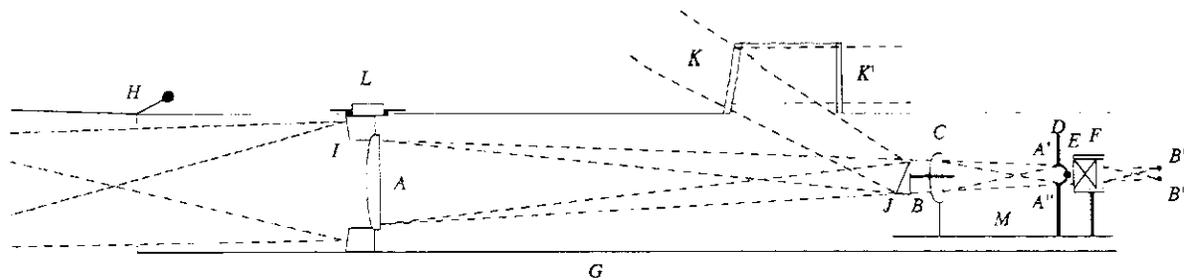


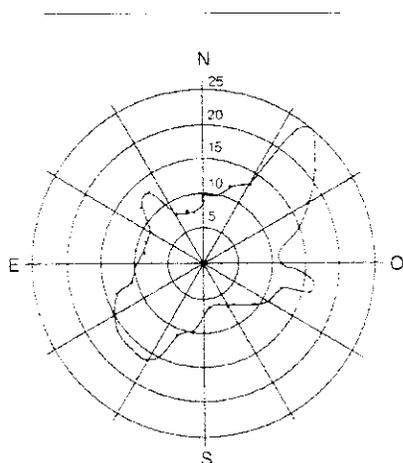
Schéma du coronographe

Il décrit ainsi l'instrument qu'il venait d'inventer : "la lentille (A, l'objectif) essuyée très soigneusement, est placée dans un tube graissé intérieurement. Elle forme l'image du Soleil sur un disque opaque (B) qui déborde cette image d'une vingtaine de secondes d'arc. Cet écran arrête la lumière solaire directe ; il est suivi d'une lentille de champ (C) qui forme une image de la première lentille sur un diaphragme à iris (D). Les bords du diaphragme arrêtent la lumière diffractée par ceux de la première lentille ; son centre est occupé par un petit écran (E) qui arrête les rayons réfléchis par les centres des faces. Derrière le diaphragme et l'écran, à l'abri de la lumière diffusée, un objectif très fortement corrigé (F) donne une image achromatique de la couronne et des protubérances".

En juillet 1930, accompagné de son épouse, Lyot monte au Pic avec dans ses bagages un premier objectif de 80 mm d'ouverture et 2 m de focale, ainsi que les pièces complémentaires. Il confectionne un tube (encore visible à l'observatoire de Meudon) avec de vieilles lames de parquet et fixe le nouvel instrument le long de la lunette de 23 cm dont la monture est très stable. En alternance avec Mercure, il observe le Soleil. Les protubérances sont parfaitement visibles, "avec la couleur rosée qu'elles présentent pendant les éclipses". Le polarimètre à franges permet de détecter sur la couronne

la proportion de lumière polarisée, que Lyot reporte sur un diagramme circulaire :

"la forme générale de ce graphique, dira-t-il, présente probablement une certaine analogie avec celle de la couronne". Au spectrographe, il obtient des clichés de la raie verte et de la raie rouge. Charles Fabri, monté en visite le 9 août, peut le féliciter.



31 juillet 1930 à midi
Proportion de lumière polarisée,
en millièmes, à 80'' du bord solaire

De retour à Paris, il présente ses résultats le 10 novembre 1930 dans une communication à l'Académie des Sciences, mais il attend le printemps suivant pour décrire avec précision le "dispositif optique diffusant très peu la lumière" qui révolutionnera l'astronomie solaire en autorisant l'étude de la couronne en dehors des éclipses.

Un nouvel objectif, de 130 mm d'ouverture, et 3,15 m de distance focale est en cours

d'achèvement à l'Institut d'Optique, tandis qu'à Meudon, le mécanicien A. Martin prépare les éléments d'un spectrographe perfectionné permettant l'utilisation soit d'un prisme, soit d'un réseau, et pouvant de plus fonctionner en spectrohéliographe, grâce à un mécanisme ingénieux mais très complexe.

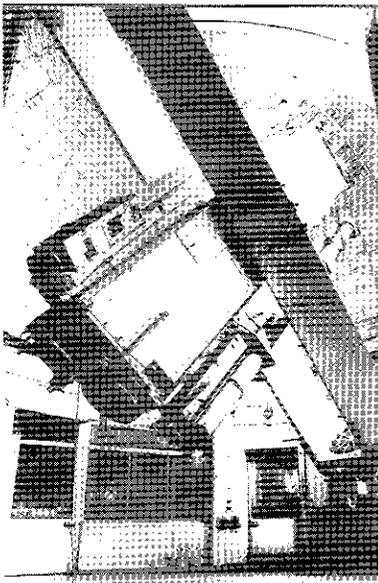
En juin 1931, tout ce matériel (210 kg), monté au Pic à dos d'homme, dans la neige, est assemblé et réglé par Lyot lui-même, en toute simplicité, avec l'aide de son épouse, du cuisinier Carmouze et sans doute du physicien Joseph Devaux, disparu en 1936 dans le naufrage du "Pourquoi pas ?". Le nouveau "coronographe" permet pour la première fois d'obtenir une image de la couronne, et l'analyse minutieuse des clichés spectrographiques à Meudon, avec l'aide d'Henri Grenat, apporte entre autres deux renseignements importants : la température extraordinairement élevée de la couronne solaire, et sa rotation un peu plus lente que celle du Soleil.

Un instrument encore plus grand (200 mm d'ouverture et 4 m de focale) est alors mis en chantier avec un soin extrême. Il sera définitivement mis en service au Pic en juin 1936 pour une durée de 40 ans !

Les années qui suivent sont riches en découvertes ; la plus spectaculaire d'entre elles concerne les extraordinaires mouvements des protubérances.

Conseillé par le cinéaste Joseph Leclerc, Lyot met au point un dispositif très sophistiqué de prise de vues cinématographique et de tirage. Lors de leur projection devant les membres de l'Union Astronomique Internationale réunis à Stockholm en août 1938, ses films, suggérant la notion toute nouvelle de l'hydromagnétisme, susciteront l'enthousiasme de la communauté scientifique mondiale. Celle-ci, encore quel-que peu réservée au début des années 30, ne ménage plus les éloges, ni les récompenses. Parmi celle-ci, la Médaille d'or de la Royal Astronomical Society. Enfin, en Mars 1939, Bernard Lyot est élu à l'Académie des Sciences et à 42 ans en devient le plus jeune membre.

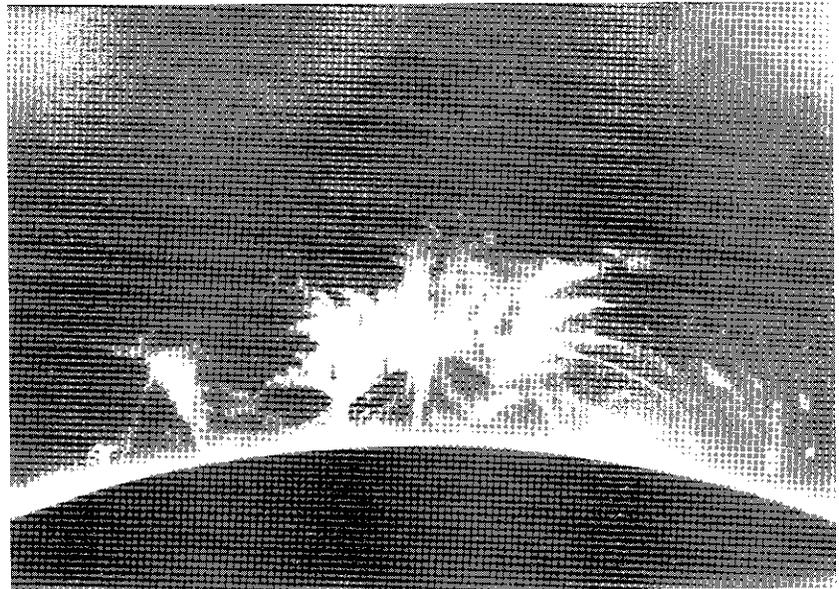
Entre temps, par un procédé très élaboré dont il avait déjà publié le principe en 1933, utili-



La coupole Baillaud en 1965. (Pic du Midi).

De haut en bas:

- lunette polarimétrique pour l'observation du plasma et de la couronne, installée en 1961
- lunette réfracto-réfecteur installée par Bernard Lyot en 1944.
- coronographe de 20 cm installé par Bernard Lyot en 1935.



Protubérance solaire le 12 juin 1937 à 8h 32

sant les interférences produites en lumière polarisée par des lames biréfringentes, Lyot met au point un "**filtre monochromatique polarisant**"² permettant avec des temps de pose très courts, d'obtenir des images très détaillées de la couronne³. Il a le temps de l'installer derrière le coronographe et de faire les premiers clichés en août 1939.

Mais survient la guerre et l'invasion de la France ; à Meudon l'occupant contrôle toutes les activités. En août 1941, Lyot obtient un laissez-passer pour se rendre en zone libre, à l'observatoire du Pic du Midi. Avec l'appui de son directeur Jules Baillaud, il remplace provisoirement l'objectif de 23 cm de la lunette par un excellent objectif de 38 cm prêté par l'Observatoire de Toulouse, et profitant de l'opposition de Mars, entame avec Marcel Gentili et Henri Carmichel une campagne approfondie d'étude visuelle et photographique de la surface des planètes et de leurs satellites : dessins et clichés sont d'une exceptionnelle richesse ! Mais il faut restituer l'objectif...

Lyot emprunte alors l'objectif de 60 cm du grand équatorial coudé de l'Observatoire de Paris, alors dirigé par Ernest Esclanon, ainsi que deux miroirs plans de 50 et 30 cm. Comme la focale est de 18 m, son projet est de replier le faisceau en trois pour le faire tenir dans le tube de la lunette du Pic, qui ne fait que 6 mètres de long mais qui est double. Malgré toutes sortes de difficultés, ces pièces lourdes et fragiles sont montées et assemblées au cours de l'été 1943 : résultats...décevants ! Il faut redescendre les miroirs (à dos d'homme), les faire retoucher à Paris et les transporter une nouvelle fois au Pic... les résultats sont bons mais il subsiste encore quelques défauts imputables uniquement à l'argenture. En février 45, après la Libération, nouveau démontage pour étudier de près dans un laboratoire improvisé sur place les inégalités d'épaisseur d'argenture et les corriger ; celle du miroir de 30 cm sera refaite 11 fois ! Les résultats sont parfaits cette fois et la campagne d'observations commencée en 41 ne s'achèvera qu'en 1973.

Durant cette période il avait poursuivi, grâce au coronographe et au filtre polarisant, l'étude spectrographique, photographique et cinématographique du Soleil. Avec la collaboration de Maurice Françon, il invente pour l'étude très fine des surfaces optiques la méthode du "**contraste de phase**". Après la guerre, grâce à de nouvelles "cellules à multiplicateur d'électron" qu'il rapporte d'un voyage d'étude aux USA, il réalise en 1948, un "**polarimètre photoélectrique**" dont il avait défini le principe en 1923. Cette nouvelle invention lui permet de perfectionner le filtre monochromatique, et en 1950 de construire le "**coronomètre photoélectrique**"⁴ rendant possible l'étude de la couronne en pleine et, sans coronographe !

En moins de quinze ans, les connaissances sur ce gigantesque laboratoire qu'est le Soleil, où les spécialistes de la physique moderne peuvent maintenant contempler grandeur nature des phénomènes illustrant et vérifiant leurs théories les plus récentes, ont progressé à pas de géant. De plus, les nouveaux projets ne manquent pas. Heureusement, de jeunes astronomes, parmi lesquels Audouin Dollfus, assistent maintenant Bernard Lyot dans ses nombreuses tâches. Mais les séjours au Pic du Midi, maintenant dirigé par Jean Rösch se font de plus en plus rares... faute de temps !

En 1951, malgré l'abondance des recherches en cours, Lyot accepte de diriger une mission franco-égyptienne pour observer à Khartoum, au Soudan l'éclipse de Soleil du 25 février 1952. Repassant au retour par l'Egypte, dans un pays en pleine révolution malgré la fatigue et la mauvaise foi des égyptiens qui prétendent s'approprier ses résultats, mais soutenu par la présence affectueu-

se et dévouée de son épouse, il doit encore séjourner au Caire. C'est alors, le 2 avril, dans le train qui le conduisait à l'observatoire d'Hélouan qu'une crise cardiaque l'emporte...

Tous ceux qui l'ont bien connu, appréciaient sa droiture, sa gentillesse, sa gaieté, sa simplicité, sa fidélité envers ses amis ; mais aussi une culture, une insatiable curiosité, un goût de la perfection et une persévérance allant parfois jusque l'obstination ! Il se consacrait entièrement à tout ce qu'il entreprenait et y pensait à chaque instant, au prix de quelques distractions dont il était le premier à rire. Il a toujours refusé les fonctions comportant des tâches administratives qui l'auraient détourné de sa mission principale et n'a jamais écrit de livres... Mais par contre, rappelant souvent qu'il devait sa vocation à l'oeuvre vulgarisatrice de Camille Flammarion, il n'a jamais mesuré son temps dans la préparation de conférences que, devant un public nombreux et attentif, il tenait à la Société Astronomique de France. Bon nombre d'astronomes amateurs tireront encore profit de la relecture de ces textes.

Avec un sens aigu de la mécanique, une rare habileté manuelle et une solide formation d'ingénieur, il pouvait sans problème construire la plupart des appareils et objets dont il avait besoin, et ne s'en privait pas ! Sportif, il pratiquait l'escalade, le ski, le patinage, le canoë, la natation (sur des kilomètres !) autant que ses loisirs le lui permettaient. Plein d'humour et d'esprit juvénile, il aimait faire participer son entourage aux nombreuses "blagues" qu'il imaginait pour l'amusement de tous ; les anciens du Pic du Midi en ont gardé le souvenir ! Pour ma mère, mon frère et moi, il était le compagnon idéal au cours des trop courtes vacances que nous pas-

sions ensemble. Un père affectueux et gai dont je ne me lasse pas d'évoquer la mémoire.

Notes de la rédaction :

1 - diffraction par les bords de l'objectif, diffusion par les poussières et rayures sur les surfaces optiques ou les bulles dans la masse du verre.

2 - Une lame cristalline biréfringente, quartz ou spath d'Islande, placée entre deux polariseurs transmet un spectre cannelé constitué par une succession de cannelures brillantes et sombres, régulièrement espacées, selon que les deux vibrations privilégiées transmises par le réseau cristallin anisotrope de la lame émergent en phase ou en opposition. La superposition d'une série de tels éléments, dans lesquels les lames cristallines ont des épaisseurs en progression géométrique de raison 2, constitue un filtre qui transmet un petit nombre de bandes bien monochromatiques. Par construction on peut obtenir que certaines de ces bandes coïncident avec des radiations intéressantes du point de vue astronomique ou qu'elles s'en écartent peu. Le filtre de Lyot présente l'avantage d'une grande luminosité (il permet l'examen monochromatique d'un champ étendu (quelques degrés)) et d'un faible encombrement qui permet de l'installer sur n'importe quelle lunette.

Le filtre original réalisé par Lyot en 1941 isolait outre les raies H_{α} et H_{β} de la chromosphère, les raies coronales 5303 Å de Fe XIV (verte) et 6374 Å de Fe XIII (rouge).

3 - et aussi de la chromosphère et des protubérances

4 - la particularité choisie est la présence de la raie d'émission verte 5303 Å ; avec cet instrument, Lyot a pu détecter la couronne sans coronographe sous le ciel brumeux de Paris.



LE TRESOR dictionnaire des sciences

Sous la direction de Michel Serres et
Nayla Farouki.
1092 pages : éd. Flammarion 1997.

En préface au dictionnaire lui-même, Michel Serres présente l'équipe de ses collaborateurs et ses intentions. Serres et Nayla Farouki sont philosophes et historiens des sciences, Charles Auffray physiologiste et biochimiste, Gilles Dowek et Jean Gabriel Ganasia informaticiens, Christian Houzel mathématicien, Albert Jacquard généticien, Etienne Klein physicien, Pierre Lazlo chimiste, Pierre Léna astrophysicien, Jean-Paul Poirier ingénieur et géophysicien. Des spécialistes divers, par conséquent, qui se sont réunis pour essayer de donner une intelligence collective de la science vivante, celle dont on peut dire qu'elle est en cours de développement et, pour cela, écrire sous une forme telle qu'elle soit comprise par le lecteur supposé, lui, non spécialiste, mais honnêtement cultivé.

Ambition folle, peut-on penser. Comment rendre compréhensible à tous une science en mouvement qui ébranle les idées reçues, qui se fonde souvent sur des concepts en contradiction avec ceux qui ont formé le cadre de nos apprentissages scolaires ? Ambition folle sans doute mais qui ne doit pas être condamnée à priori puisqu'il est aussi de la nature même de la science qu'elle soit transmise, expliquée, communiquée.

Plutôt que de nous attarder sur la préface - M. Serres a toujours de bonnes idées et il prend visiblement plaisir à les développer (réserveons nous d'y revenir et de les discuter) - utilisons ce dictionnaire comme un

dictionnaire en y cherchant telle entrée qui nous intrigue et de cette entrée aux suivantes auxquelles la première nous renvoie. Folâtrer d'une entrée à l'autre, j'ai toujours aimé ces promenades pleines d'imprévu depuis que, écolier, je folâtrais dans le vieux Larousse en dix volumes de ma grand-mère (on n'y trouvait pas de couleur dans les images et je n'ai pas souvenir d'y avoir trouvé le nom d'Einstein).

Dans ce Trésor, j'ai commencé par l'article Laser : je lis, au-dessous du titre, "A lire après : Atome ; Electromagnétisme ; Lumière". Pour d'autres entrées, comme Méiose, on trouve : "A lire avant : Mitose. A lire après : Chromosome ; Différenciation cellulaire ; Recombinaison". Cette innovation des "A lire avant, ou à lire après" est sûrement heureuse pour guider le promeneur hésitant mais on espère bien qu'il ira batifoler à sa guise.

En fin d'ouvrage, deux index :

- l'index général renvoie pour chaque mot à l'entrée ou il est défini et expliqué ; en gras, les mots qui constituent les entrées du dictionnaire et qui en constituent le squelette ou l'architecture : un peu plus de mille entrées et vous pensez bien que l'entrée **Champ** est plus volumineuse que l'entrée **Rasoir d'Occam**. Sans compter que tout lecteur a ses préoccupations particulières qui lui feront regretter de ne pas trouver **Viriel** et s'étonner du volume consacré à **Virgule**. Dans cet index général des mots cités, le mot Scanner employé par M. Serres dans sa préface est introuvable. Je regrette d'être tombé à ma première lecture sur cette défaillance.

- Un deuxième index des noms de personnes renvoie aux entrées où ils sont cités. **Aristarque** renvoie à **Eclipse**, alors que **Aristarque de Samos** renvoie à **Distance** (même si dans l'entrée **Eclipse** il est précisé que ce même Aristarque, toujours domicilié à Samos, utilisa les éclipses de Lune pour estimer la distance de la Lune). Mais ce dictionnaire n'est pas historique et s'il donne les dates pour Aristarque, d'autres glorieux inventeurs n'ont pas cette faveur.

Onze cent pages, c'est déjà un gros volume. Il ne pouvait tout dire. La biologie n'est elle pas un peu sacrifiée au profit de la physique des particules ? J'ai déjà exprimé quelques regrets personnels, j'ajoute ma déception de retrouver une vieille faute que je reprochais encore à mes élèves à propos du mot **Puissance** ; je cite : "En mathématiques, élever un nombre à la puissance n consiste à le multiplier n fois par lui-même". Corrigez vous-même en calculant 2^3 . Plus étonné encore de trouver une entrée **Virgule** qui ne signale pas l'usage anglo-saxon du point dans 3,75 là où nous écrivons 3,75. Un renvoi à **Base de calcul** est peu utile puisque vous êtes aussitôt renvoyé à **Numération**. Et là je suis étonné de lire que l'écriture 3,666... pour $11/3$ serait utilisée depuis le XIII^{ème} siècle alors que je croyais qu'elle avait été introduite par Stevin dans sa fameuse **Disme** (1585).

Il est bien certain qu'un tel dictionnaire ne peut satisfaire également le curieux de la théorie des nombres et le passionné du modèle standard de la physique des particules. Ne boudons pas le plaisir qu'il nous donne, même si nous grognons sur une erreur de multiplication. Et puis, n'oublions pas que les Auteurs ont prêté une sorte de serment d'Hippocrate adapté à l'ensemble des sciences et que voici :

"Pour ce qui dépend de moi je jure : de ne point faire servir mes connaissances, mes inventions et les applications que je pourrais tirer de celles-ci à la violence, à la destruction ou à la mort, à la croissance de la misère ou de l'ignorance, à l'asservissement ou à l'inégalité, mais de la dévouer au contraire à l'égalité entre les hommes, à leur survie, à leur élévation et à leur liberté."

Ambition folle, ce dictionnaire, sans doute, mais ses auteurs ont prêté ce serment. Alors, chapeau bas !

OLYMPIADES DE PHYSIQUE

ouvrage coordonné par Sylvain Chaty, préface de Pierre Léna. 176p. ; éd. CNDP 1997 (110F).

Les Olympiades de physique proposent aux élèves des lycées de participer à de véritables expériences de physique. Autrement dit, elles ouvrent ou entrouvrent à des jeunes volontaires le monde fascinant de la recherche. Le présent ouvrage groupe quelques unes des réalisations effectuées dans ce cadre par des équipes des lycées de toutes les régions françaises. La meilleure présentation que nous puissions en faire est de donner la liste impressionnante des sujets traités, classés en quatre chapitres :

1 - **Physique fondamentale** : YBCO, la supraconductivité à 90K. La chambre à brouillard. A propos de conduction et de convection. Physique au sommet. Fractales.

2 - **Optique** : Spectroscopie solaire. Mise en évidence d'une absorption par interférométrie. Mesure de la vitesse de la lumière. A la découverte de l'imagerie numérique. Optoélectronique, applications. La harpe laser.

3 - **Mécanique** : Mise en oeuvre d'essais aérodynamiques. Les modes propres d'une structure ou

comment entendre la forme du cristal. L'affaire Tournesol ou comment coupler deux pendules. Automatisation des déplacements d'un télescope. Mesure de l'accélération d'une mini-fusée.

4 - **Innovations technologiques** : Construction d'un appareil de surveillance et de pilotage de la teneur en oxygène de l'eau d'un aquarium. Réalisation d'une station expérimentale d'épuration. Mesure du débit d'un barrage en Durance. Acquisition d'images aériennes en basse altitude. Construction d'un radiomètre automatique. Esyphone ou TCV 600.

TERRE ET ESPACE, rencontre du second T.I.P.E.

Hors-série n°5 de *Tangente* ; éd. Archimède 1997 (95F)

En introduction, Gilles Cohen nous rappelle ce qu'il faut entendre par T.I.P.E. ou **Travaux d'Initiative Personnelle Encadrés** : permettre à des élèves de classes préparatoires aux grandes écoles une sorte d'approche de la recherche, travaux débouchant sur deux épreuves :

1 - une analyse de documents scientifiques fournis quelques heures avant l'épreuve.

2 - une soutenance, un exposé sur le travail préparé durant l'année sur un thème commun, ici **"mesures de la Terre, calcul d'orbites, approximations"**.

L'ouvrage collectif traite des mesures de la Terre et du temps, de la représentation de la Terre et de l'espace, de l'exploration de l'espace et enfin des calculs astronomiques et approximations. Soit 25 articles de difficultés inégales mais qui donnent une idée des travaux pouvant être développés dans l'année. Souhaitons que certains des travaux réalisés durant cette année donnent lieu à des articles que les CC seraient heureux de publier.

GALILEE

Yvette Afchain, Jeanine Chappelet et Hélène Schertz, 62p. : BT2 édition PEMF 1998.

Voici, sous une forme très accessible aux élèves de collège, une excellente monographie sur Galilée, le savant, son oeuvre en mécanique, en mathématiques, en astronomie, avec des épisodes sur la chute des corps, sur la lunette et

aussi sur le procès. Une très bonne bibliographie, un index, soit un véritable outil de travail. Une réussite complète.

LE GUIDE DU CIEL 1998-1999

Guillaume Cannat, 304 p. : éd. Nathan 1998 (129F).

Un regret, pour commencer : que ce guide n'ait pas paru avant le

7 avril 1998 annoncé. Regret justifié parce que ce guide est le type des ouvrages qui peuvent aider les débutants dans leur exploration du ciel : bons conseils pour l'observation avec ou sans instrument, les phénomènes au jour le jour avec des curiosités comme voir se coucher la pleine Lune depuis le rond point de champs Elysées, juste sous l'Arc de Triomphe.

Gilbert Walusinski. ■

Temps magique en Guadeloupe, suite et fin

Léger vent de panique à défaut de vent tout court ! Le croissant diminue à toute vitesse. Il nous reste juste quelques minutes pour photographier quelques sténopés. Déjà l'ombre arrive sur les hauteurs de Basse-Terre. Les ombres volantes se déplacent rapidement sur le drap blanc. Deuxième contact. Et tout bascule. Au loin on entend des cris, les lumières des bourgs voisins s'allument. Il fait sombre et anormalement frais. Et là-haut la splendeur du spectacle me paralyse. Tandis que la couronne, assez petite, scintille autour du disque lunaire d'un noir absolu, Mercure et Jupiter apparaissent de part et d'autre, seuls points brillants sur un ciel uniformément bleu...bleu...Pas d'adjectif. Et sans nuage. Personne ne dit rien. On n'entend plus que les déclics des appareils photo (combien de milliers au même instant sur l'île?...), puis quelques questions (je la fais maintenant la pose longue ?...) quelques bribes : prends le temps de regarder, vite, la lumière revient sur Basse-Terre, ah non! déjà le troisième contact ? Mais on n'a pas eu 2 min 52, ce n'est pas possible ! Le Soleil vainqueur semble se débarrasser de la Lune triomphalement. N'éprouvant apparemment pas la nécessité d'un retour progressif de la lumière, il nous envoie de nouveau des torrents de photons, et nous ne retrouvons pas du tout la lumière oppressante et ocre d'avant la totalité...

Impressions, émotions, champagne (bien frais). Qui a vu les grains de Bailly ? Non, mais on espère voir quelque chose sur les photos. Il fait grand jour, chaud de nouveau, et chacun raconte son éclipse, comme au retour d'un voyage solitaire.

Une heure après nous sommes à l'aéroport, encore un peu éblouis, comme ces groupes venus apparemment des îles voisines pour l'événement.

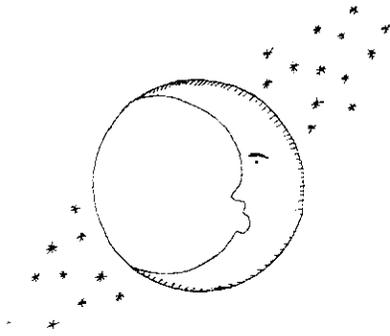
J'achète un dernier souvenir : un porte-clés où on peut lire : le Soleil a rendez-vous avec la Lune, de 13 h 34 à 13 h 37, et la date. J'y vois un dernier clin d'œil des astres facétieux ! Le reste n'est que routine : mesdames, messieurs, nous allons bientôt atterrir à Paris-Orly. Il est 7 h 45 et la température est de 9°C... Demain, le marchand de photos me rendra une pellicule verdâtre où on reconnaît à grand-peine mes "photos d'ambiance" ! C'est là que j'ai décidé de mettre de l'autobronzant pour sembler avoir bonne mine le jour de la rentrée au lycée. L'infirmière est encore subjuguée et émue par la beauté du spectacle. "Ah, dit-elle, sur la plage, l'éclipse, c'était génial ! Ils nous avaient mis une musique... mais une musique planante... ah oui, c'était beau ! Mais dites donc, vous vous étiez trompée d'une heure ! C'était à 2 heures et demie, l'éclipse, pas à 1 heure et demie...?!" Ah! la phrase qui tue ... Je bredouille que ça m'étonnerait mais que bof, une heure de plus, une heure de moins, de toute façon on ne risquait pas de la manquer, cette éclipse, pas vrai ?

Je finis mon article. Nous sommes le 29 Mars et il est 2 heures. Non, me dit le type de la radio, il faut remettre vos montres à l'heure car il est 3 heures. "De toute façon, rétorqué-je d'un ton sec, à la Guadeloupe, il est toujours 21 heures". Je sais, cela ne sert à rien, mais cela fait du bien, de temps en temps, d'avoir le dernier mot, tout de même.

Notes

1 - ouassou : délicieuse écrevisse

2 - racoon : raton-laveur guadeloupéen



Les nouveaux très grands télescopes et la recherche des galaxies primordiales

Lucette Bottinelli

L'aptitude des télescopes Keck à détecter des astres très faibles vient d'être illustrée au printemps 1998, par la découverte des galaxies les plus lointaines connues à ce jour, qui sont dans une phase embryonnaire et constituent ce que l'on appelle des "galaxies primordiales"

La période des années 1975-1980 avait vu la mise en service de la nouvelle génération des grands télescopes de la classe des 4 m (et aussi celle du plus grand de ces télescopes avec une ouverture de 6 m, dans le Caucase). Depuis 1992, nous sommes entrés dans une nouvelle ère, celle de la mise en service de télescopes de la classe des 10 m ; et d'ici une décennie, il y aura dans le monde, une douzaine de télescopes ayant un miroir principal de diamètre de l'ordre de 8 à 10 m. L'Europe est partie prenante de ces développements grâce à l'Observatoire Européen Austral (ESO pour : "European Southern Observatory") qui est engagé dans la construction du VLT ("Very Large Telescope") dont la première unité (un télescope d'ouverture 8,2 m) a été mise en opération à la fin mai 1998.

Les télescopes Keck : une mosaïque géante

Les miroirs principaux des télescopes des années 1975-1980 étaient des monolithes, à une exception près ; en effet, le télescope dit "MMT" (pour : "Multi Mirror telescope") du Mont Hopkins en Arizona, avait un miroir primaire constitué de 6 segments distincts de diamètre 1,80 m chacun, équivalent à un miroir unique de 4,5 m de diamètre. Ce concept original d'une mosaïque de petits miroirs pour reconstituer l'équivalent d'un grand miroir, avait déjà été imaginé par Lord Rosse vers 1850 au cours de ses recherches pour réaliser de grands miroirs (cf. les CC n° 81).

C'est cette solution de miroir segmenté qui a été retenue pour réaliser le premier très grand télescope d'ouverture 9,82 m de l'université de Californie, installé sur le site astronomique de Hawaï à 4150 m d'altitude.

La mise en service en 1992, de ce premier télescope, appelé "Keck I", du nom du donateur W.M. Keck qui a essentiellement financé cette réalisation, a été suivie en 1996 par celle d'un télescope jumeau (appelé le "Keck II"), localisé à environ 26 m du premier. Dans le futur, ces deux télescopes seront associés pour fonctionner en mode interférométrique et ils permettront alors d'obtenir une résolution angulaire spatiale équivalente à celle d'un miroir unique de diamètre 26 m (soit la séparation des deux miroirs).

La chasse aux astres faibles

Pour le moment, le bond en avant décisif permis par ces très grands télescopes est la possibilité de détecter des astres extrêmement peu brillants ; il peut s'agir en particulier d'astres intrinsèquement très faibles et proches comme des planètes autour d'étoiles proches, ou d'astres lumineux et très lointains comme les galaxies primordiales. En effet, la sensibilité est directement proportionnelle à la surface collectrice du télescope et celle-ci est proportionnelle au carré de l'ouverture ; ainsi un télescope "Keck" a une puissance collectrice supérieure d'environ 17 fois à celle du télescope spatial Hubble (HST) dont l'ouverture est de 2,4 m (le rapport $10 / 2,4$ au carré vaut environ 17). Par ailleurs, il faut noter que la résolution angulaire spatiale pour un télescope au sol est de fait limitée par la turbulence atmosphérique ; sur le site d'Hawaï, dans de bonnes conditions atmosphériques, cette résolution est typiquement de 0,5" soit environ 10 fois moins bonne que celle du HST. Cependant les développements en cours de l'optique adaptative devraient permettre de restituer la figure de diffraction des grands télescopes au sol.

Remonter dans le temps en observant de grands décalages spectraux

D'après la loi d'expansion de l'univers (loi de Hubble), plus une galaxie est lointaine, plus la lumière de son spectre est décalée vers les grandes longueurs d'onde. C'est la mesure du décalage de la position des raies dans le spectre qui fournit directement ce que l'on appelle le décalage spectral relatif noté z et qui est lié aux longueurs d'onde observées (λ_{obs}) et émises (λ_e) par la relation : $z = (\lambda_{\text{obs}} - \lambda_e) / \lambda_e$. De plus, z est déterminé par le rapport entre le facteur d'échelle de l'Univers à l'époque actuelle (R_0) et celui (R_e) à l'époque où la lumière a été émise par la galaxie, selon la relation : $1+z = R_0/R_e$. Jusqu'à récemment, les décalages les plus élevés observés se situaient entre $z = 4$ et 5 et concernaient les astres très lumineux que sont les quasars ; pour $z = 4$, on observe donc le quasar à une époque où l'univers était 5 fois plus condensé qu'à notre époque actuelle. Ainsi en observant des galaxies à des z de plus en plus élevés, on remonte dans l'histoire de l'univers et on observe des galaxies à des époques (caractérisées par R_e) de plus en plus reculées donc des galaxies de plus en plus jeunes dans leur évolution.

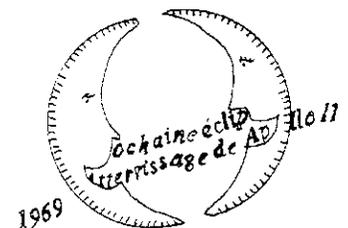
Quand l'ultraviolet s'observe dans l'infrarouge ...

Les observations récentes réalisées avec les télescopes Keck ont permis de franchir coup sur coup à six semaines d'intervalle, la barrière $z = 5$; il s'agit d'une part, d'une nouvelle galaxie très faible avec $z = 5,35$, découverte par hasard dans la constellation du Triangle lors d'une pause sur une galaxie lointaine, avec le spectrographe multifibres permettant

d'obtenir simultanément le spectre de 30 objets dans le champ étudié, et d'autre part d'une galaxie à $z = 5,64$ pour laquelle la recherche est ciblée sur la raie Lyman α de l'hydrogène ($\lambda_e = 121,6$ nm). Dans ce dernier cas, la raie $L\alpha$ est observée dans la partie infrarouge du spectre à $\lambda_{\text{obs}} = 807$ nm environ ; depuis que cette lumière a été émise l'Univers s'est dilaté d'un facteur 6,64.

La correspondance entre z et l'époque exprimée en années, en particulier la durée - appelée "âge de l'Univers" - qui s'est écoulée depuis le "big bang", dépend du modèle particulier d'Univers adopté et dans les cas simples dépend seulement des valeurs actuelles de la constante de Hubble et de la densité moyenne de l'Univers. Pour la galaxie précédente ($z = 5,64$), cela impliquerait que la galaxie est observée environ 800 millions d'années après le "big bang" à une date qui représente quelques pour cent de l'âge de l'Univers.

Il faut noter que les nouvelles possibilités des très grands télescopes ouvrent la voie à la détection d'une nombreuse population de galaxies faibles plus représentative que la seule population des monstres - population rare - que sont les quasars ou les radiogalaxies, par exemple. La technique actuelle permet d'envisager la détection de galaxies jusqu'à $z = 6,5$ et l'on sera donc en situation d'observer les phases initiales de la formation des galaxies et de contraindre significativement les modèles d'évolution de galaxies.



**Transparents animés
pour rétroprojecteur**
(50F-55F)

- T1** Le TransSoLuTe
(phases de la lune et éclipses)
T2 Les fuseaux horaires

Filtres colorés
FCR

Six feuilles de filtres colorés
et une feuille de réseaux
70F-75F (abonnés : 65F)

- D1** Phénomènes lumineux
D2 Les phases de la Lune
D3 Les astres se lèvent aussi
D4 Initiation aux constellations
D5 Rétrogradation de Mars
D6 Une expérience pour illustrer les saisons
(série de 8 vues 30F-35F)
D7 Taches solaires et rotation du Soleil
D8 Comètes

DIAPPOSITIVES

Série de 20 vues plus un livret de commentaires
60-65F (abonnés : 50-55F)

Publications du **CLEA**

Pour chaque publication,
le deuxième prix comprend
la publication et ses frais d'expédition.



Chèques à l'ordre du CLEA

Les fiches d'activité pédagogiques du CLEA

- HS1** L'astronomie à l'école élémentaire
HS2 La Lune niveau collège 1
HS3 Le temps, les constellations, niveau lycée
HS4 Astronomie en quatrième
Chaque HS 60F-68F (abonnés : 40F-48F)
- HS5** Gravitation et lumière, niveau terminale
75F-83F (abonnés : 65F-73F)
- HS6** L'âge de la Nébuleuse du Crabe
avec 4 diapositives et 12 jeux de deux photographies
niveau lycée
100F-110F (abonnés : 90F-100F)
- HS7** Étude du spectre du Soleil
50F-58F (abonnés : 42F-50F)

Numéros hors série des **CAHIERS CLAIRAUT**
réalisés par le Groupe de Recherche Pédagogique du CLEA

Cours polycopiés d'astrophysique

(M3.C4 de l'université
Paris XI-Orsay)

- CI**
Astrophysique générale
- CII**
Mécanismes de rayonnement
en astrophysique
- CIII**
États dilués de la matière :
le milieu interstellaire
- CIV**
La structure interne des étoiles
- CV**
Relativité et cosmologie
- CS**
Astrophysique solaire : le Soleil
- Chaque fascicule : 30F-35F

CONDITIONS D'ADHÉSION ET D'ABONNEMENT POUR 1998

Cotisation simple au CLEA pour 1998	50 F
Abonnement simple aux CAHIERS CLAIRAUT n° 81 à 84	140F

Abonnement aux CAHIERS CLAIRAUT ET cotisation au CLEA pour 1998	190F
---	------

Contribution de soutien au CLEA (par an)	50F
Le numéro des Cahiers Clairaut (port compris)	45F

Possibilité de cotiser ou de s'abonner pour deux ans en doublants les tarifs précédents

COLLECTIONS DES **CAHIERS CLAIRAUT**

C1 Collection complète du n° 1 au 80 (1 200F - 1 300F)
C88. C89. Collections 1988 ou 1989 (chaque 80F - 90F)
C90 à C97 (chaque 90F - 100F)

NB : Comme toutes les publications, le deuxième prix est celui qui correspond au tarif port compris.

Adresser inscriptions,
abonnements ou commandes à

Chèque à l'ordre du CLEA

CLEA

Laboratoire d'Astronomie Bât. 470
 Université Paris Sud
 91405 ORSAY Cedex

Publications...

FASCICULES POUR LA FORMATION DES MAITRES EN ASTRONOMIE

- | | |
|--|-----------|
| 1- L'observation des astres, le repérage dans l'espace et le temps | (20F-25F) |
| 2- Le mouvement des astres | (25F-30F) |
| 3- La lumière messagère des astres | (30F-35F) |
| 4- Naissance, vie et mort des étoiles | (30F-35F) |
| 5- Renseignements pratiques, bibliographie pour l'astronomie | (25F-30F) |
| 5 bis- Complément au fascicule 5 | (25F-30F) |
| 6- Univers extragalactique et cosmologie | (30F-35F) |
| 7- Une étape de la physique, la Relativité restreinte | (60F-68F) |
| 8- Moments et problèmes dans l'histoire de l'astronomie | (60F-68F) |
| 9- Le système solaire | (50F-58F) |
| 10- La Lune | (30F-35F) |
| 11- La Terre et le Soleil | (40F-48F) |
| 12- Simulation et astronomie sur ordinateur | (30F-35F) |

Publication du planétarium de Strasbourg

LSO. Catalogue des étoiles les plus brillantes :

toutes les données disponibles du Centre des Données Stellaires de l'Observatoire
de Strasbourg concernant 2 000 étoiles visibles à l'oeil nu (75F)

Commande à adresser au service librairie du Planétarium de Strasbourg

Directrice de la publication : Lucienne Gouguenheim
 Imprimerie Hauguel, 92240 Malakoff

dépot légal 1^{er} trimestre 1979
 numéro d'inscription CPPAP 61600
 Prix au numéro : 40F